



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

**ZVÝŠENÍ ÚROVNĚ SPOLEHLIVOSTI DODÁVKY
ELEKTRICKÉ ENERGIE Z HYDROCENTRÁLY JASENIE DO
ŽELEZIARNÍ POODBREZOVÁ**

INCREASING OF RELIABILITY OF POWER SUPPLY FROM THE JASENIE HYDROPOWER PLANT TO
ŽELEZIARŇ POODBREZOVÁ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michal Budovec

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.

BRNO 2018

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Bc. Michal Budovec

ID: 164247

Ročník: 2

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

**Zvýšení úrovně spolehlivosti dodávky elektrické energie z hydrocentrály Jasenie
do Železiární Podbrezová**

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Návrh přeizolace vedení 22 kV mezi hydrocentrálou a železárnami
2. Způsob chránění vedení 22 kV a přenosu dat z elektrických ochran hydrocentrály do budovy energetiky
3. Návrh přepětových ochran v rozvodně železáren a v hydrocentrále
4. Návrh záložního transformátoru pro vyvedení výkonu z hydrocentrály

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Literatura je stanovena dle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 21.5.2018

Vedoucí práce: doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

BUDOVEC, M. *Zvýšení úrovně spolehlivosti dodávky elektrické energie z hydrocentrály Jasenie do Železiarní Podbrezová*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 78 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D..

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma *Zvýšení úrovně spolehlivosti dodávky elektrické energie z hydrocentrály Jasenie do Železiarní Podbrezová* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.“

V Brně dne: 18. 05. 2018

.....

POĎAKOVANIE

Týmto by som sa rád poďakoval doc. Ing. Jaroslave Orságovej, Ph.D. za odbornú pomoc, vedenie práce a cenné rady pri konzultáciách. Takisto by som sa rád poďakoval kolektívu z energetiky Železiarní Podbrezová a.s. za odborné rady a poskytnuté informácie. Nakoniec by som sa ešte rád poďakoval rodičom za podporu počas štúdia a písania diplomovej práce.

ABSTRAKT

Táto práca sa zaoberá prevádzkou hydrocentrály Jasenie, ktorá dodáva elektrickú energiu do Železiarní Podbrezová a.s. Popisuje súčasnú prevádzku ako aj zariadenia a vybavenie v jednotlivých rozvodniach. Druhá kapitola stručne popisuje históriu a činnosť spoločnosti. V ďalšej kapitole je uvedený prehľad zdrojov vlastnej výroby elektrickej energie. Štvrtá kapitola sa detailne venuje súčasnému stavu prevádzky hydrocentrály, sú v nej popísané zariadenia a vybavenie jednotlivých rozvodní. Ďalej sú v nej uvedené, ktoré opatrenia treba vykonať pre zvýšenie spoľahlivosti dodávky elektrickej energie. Následne sa práca venuje výmene izolátorov na vedení 22 kV. V ďalšej kapitole je návrh chránenia tohto vedenia pomocou multifunkčnej smerovej ochrany a návrh prenosu dát z HC Jasenie do budovy energetiky v Starom závode. V ďalšom kroku je v práci uvedený návrh záložného transformátoru pre vyvedenie výkonu s kontrolou prípojnic na tepelné a dynamické účinky skratového prúdu. Posledná kapitola je venovaná prepäťovým ochranám v HC Jasenie, ako aj vo objekte Vstupnej rozvodne. Výsledky a prínos práce je zhrnutý v závere. V prílohách sú uvedené schémy jednotlivých rozvodní a celková prehľadová schéma, ktoré majú slúžiť k pochopeniu problematiky.

KLÍČOVÁ SLOVA: vodná elektrárňa; výroba elektrickej energie; prevádzka elektrárne; rozvodňa; bezpečnosť; spoľahlivosť, izolátory, záložný transformátor, multifunkčná ochrana, prenos dát, prepäťové ochranné zariadenia

ABSTRACT

This thesis deals with operation of the Jasenie hydroelectric power plant, which supplies electricity to Železiarne Podbrezová Inc. This thesis describes actual operation, devices and equipment in all substations. The second chapter briefly describes company's history and activities of the company. The next chapter mentions an overview of the sources of own electricity production. The fourth chapter in detail deals with actual situation of the hydroelectric power plant operation, describes devices and equipment in all substations. It also outlines what measures should be taken to increase the reliability of electricity supply. Next part deals with replacing insulators on the 22 kV line. Sixth chapter is focused on protection this line by multifunctional protection relay and data transfer from HC Jasenie to the building of power engineering. In the next step is designed a backup transformer with bus control for thermal and dynamic effects of the short-circuit current. The last chapter is focused on surge protection in HC Jasenie as well as in the area of Sťahovisko substation. The results and benefits of this work are summarized in the conclusion. The attachment contains schemes of substations and overall overview scheme, which are used for better understanding of this problem.

KEY WORDS:

hydroelectric power plant; electric energy production; power plant operation; substation; safety; reliability, insulators, backup transformer, multifunctional protection relay, data transfer, surge protection devices

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	8
SEZNAM TABULEK	9
SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČÍN A ZKRATEK.....	10
1 ÚVOD	14
2 HISTÓRIA A POPIS ČINNOSTI SPOLOČNOSTI.....	15
3 PREHĽAD ZDROJOV VLASTNEJ VÝROBY ŽP.....	16
3.1 ELEKTRÁREŇ PIESOK	16
3.2 HYDROCENTRÁLA DUBOVÁ	16
3.3 HYDROCENTRÁLA JASENIE	16
3.4 ELEKTRÁREŇ PREDAJNÁ.....	17
3.5 KOGENERÁČNÁ JEDNOTKA V NOVOM ZÁVODE	17
4 SÚČASNÝ STAV PREVÁDZKY A VYBAVENIE HC JASENIE.....	18
4.1 VYBAVENIE HYDROCENTRÁLY JASENIE.....	18
4.1.1 ROZVODŇA 5,2 kV.....	19
4.1.2 ROZVODŇA 22 kV.....	20
4.2 VYBAVENIE VSTUPNEJ ROZVODNE	21
4.2.1 ROZVODŇA 22 kV V STAROM ZÁVODE	21
4.3 AKTUÁLNY STAV PREVÁDZKY	23
4.4 NÁVRH ZMIEN A ÚPRAV PRE ZVÝŠENIE SPOĽAHLIVOSTI PREVÁDZKY HC JASENIE	24
5 PREIZOLÁCIA VEDENIA 22 KV	25
5.1 POŽIADAVKY NA IZOLÁTORY VN	25
5.2 NÁVRH IZOLÁTOROV PRE VZDUŠNÉ VEDENIE 22 KV Č. 387.....	26
6 NÁVRH CHRÁNENIA VEDENIA 22 KV A PRENOSU DÁT Z HC JASENIE DO BUDOVY ENERGETIKY.....	31
6.1 NÁVRH MULTIFUNKČNEJ SMEROVEJ OCHRANY	31
6.1.1 NASTAVENIE PARAMETROV OCHRANY PRE SMEROVÚ DETEKCIU ZEMNÉHO SPOJENIA.....	34
6.1.2 VÝPOČET PORUCHOVÉHO PRÚDU PRI ZEMNOM SPOJENÍ.....	36
6.2 PRENOS DÁT Z OCHRÁN V HC JASENIE DO BUDOVY ENERGETIKY V STAROM ZÁVODE	39
7 NÁVRH ZÁLOŽNÉHO TRANSFORMÁTORU PRE VYVEDENIE VÝKONU	44
7.1 PODMIENKY PARALELNEJ SPOLUPRÁCE SKUPINY TRANSFORMÁTOROV.....	44
7.2 VÝPOČET MAXIMÁLNEHO PRENÁŠANÉHO VÝKONU	45
7.3 UMIESTNENIE TRANSFORMÁTORA.....	46
7.4 KONTROLA SKRATOVEJ ODOLNOSTI PRI PARALELNEJ SPOLUPRÁCI TRANSFORMÁTOROV T1, T2 A T4	46
7.4.1 VÝPOČET IMPEDANCIÍ JEDNOTLIVÝCH PRVKOV SIETE	47
7.4.2 VÝPOČET SKRATOVÉHO PRÚDU V MIESTE A	50

7.4.3 KONTROLA SKRATOVEJ ODOLNOSTI NA HLADINE 5,2 KV	51
7.4.4 VÝPOČET SKRATOVÉHO PRÚDU V MIESTE B	53
7.4.5 KONTROLA SKRATOVEJ ODOLNOSTI PŘÍPOJNÍC NA HLADINE 22 KV	55
8 NÁVRH PREPÄŤOVÝCH OCHRÁN.....	57
8.1 OCHRANA PRED PREPÄTIAMI.....	57
8.1.1 ATMOSFÉRICKÉ PREPÄTIE.....	57
8.1.2 SPÍNACIE PREPÄTIE	58
8.2 PREPÄŤOVÉ OCHRANNÉ ZARIADENIA.....	59
8.2.1 ZVODIČE PREPÄTIA VYUŽÍVAJÚCE NELINEÁRNE ODPORY	60
8.2.2 ZÁSADY DIMENZOVANIA OBMEDZOVAČOV PREPÄTIA	62
8.2.3 UMIESTNENIE ZVODIČOV PREPÄTIA.....	64
8.2.4 PRAVIDLÁ PRE PRIPOJOVANIE OBMEDZOVAČOV PREPÄTIA.....	64
8.2.5 KOORDINÁCIA IZOLÁCIE ZARIADENÍ	65
8.3 NÁVRH PREPÄŤOVÝCH OCHRÁN V HC JASENIE A VO VSTUPNEJ ROZVODNI STARÉHO ZÁVODU	65
8.3.1 NÁVRH OBMEDZOVAČOV PREPÄTIA V HC JASENIE	66
8.3.2 NÁVRH OBMEDZOVAČOV PREPÄTIA V OBJEKTE ROZVODNI STARÉHO ZÁVODU	67
9 ZÁVER.....	70
POUŽITÉ ZDROJE.....	71
PRÍLOHA A – SCHÉMA ROZVODNE 5,2 KV V HC JASENIE	74
PRÍLOHA B – SCHÉMA ROZVODNE 22 KV V HC JASENIE	75
PRÍLOHA C – SCHÉMA ROZVODNE 22 KV V STAROM ZÁVODE, VÝKRES A	76
PRÍLOHA D – SCHÉMA ROZVODNE 22 KV V STAROM ZÁVODE, VÝKRES B	77
PRÍLOHA E – PREHLADOVÁ SCHÉMA CELEJ PREVÁDZKY.....	78

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázok 4-1: Zjednodušená schéma vstupnej rozvodne 22 kV v Starom závode</i>	<i>22</i>
<i>Obrázok 5-1: Sily pôsobiace v bode uchytenia závesu.....</i>	<i>27</i>
<i>Obrázok 5-2: Podperný keramický izolátor VPA 135/12a [46].....</i>	<i>28</i>
<i>Obrázok 5-3: Závesný keramický izolátor LP 60/7/490 [29].....</i>	<i>29</i>
<i>Obrázok 6-1: Digitálna ochrana SIPROTEC Compact 7SJ80 [31]</i>	<i>31</i>
<i>Obrázok 6-2: Zapojenie ochrany a meracích transformátor pre citlivú smerovú detekciu zemných porúch.....</i>	<i>32</i>
<i>Obrázok 6-3: Smerová charakteristika pre metódu $\sin \varphi$ [51]</i>	<i>35</i>
<i>Obrázok 6-5: Rozmery hláv stožiarov a typy usporiadania fázových vodičov.....</i>	<i>36</i>
<i>Obrázok 6-6: Princíp prenosu dát.....</i>	<i>39</i>
<i>Obrázok 6-7: Prevodník iChipNET Box [36].....</i>	<i>40</i>
<i>Obrázok 6-8: Hlavné okno programu iChipConfig [38]</i>	<i>41</i>
<i>Obrázok 7-1: Umiestnenie transformátora T1 v HC Jasenie.....</i>	<i>46</i>
<i>Obrázok 7-2: Schéma siete pri kontrole skratovej odolnosti</i>	<i>47</i>
<i>Obrázok 7-3: Náhradná schéma siete</i>	<i>50</i>
<i>Obrázok 7-4: Postupné zjednodušovanie náhradnej schémy A</i>	<i>51</i>
<i>Obrázok 7-5: Postupné zjednodušovanie náhradnej schémy B</i>	<i>54</i>
<i>Obrázok 8-1: Priebeh zotaveného napätia pri vypínaní skratu (upravené autorom) [18]</i>	<i>58</i>
<i>Obrázok 8-2: Vznik prepätia pri zemnom spojení v izolovanej sieti[19].....</i>	<i>59</i>
<i>Obrázok 8-3: Napäťová závislosť zvodíčov prepätia zo ZnO a SiC [18]</i>	<i>61</i>
<i>Obrázok 8-4: Vzťah medzi základnými parametrami obmedzovača prepätia a chráneným systémom (upravené autorom) [18]</i>	<i>63</i>
<i>Obrázok 8-5: TOV charakteristika obmedzovača prepätia [23]</i>	<i>63</i>
<i>Obrázok 8-6: Umiestnenie obmedzovača prepätia pri chránení transformátoru podľa [20]</i>	<i>64</i>
<i>Obrázok 8-7: Umiestnenie obmedzovačov prepätia na hladine 22 kV v HC Jasenie.....</i>	<i>67</i>
<i>Obrázok 8-8: Umiestnenie obmedzovača prepätia na stožiaroch pri káblovom vyústení [20].....</i>	<i>68</i>
<i>Obrázok 8-9: Umiestnenie obmedzovačov prepätia na káblových úsekoch 22 kV vo vstupnej rozvodni Starého závodu</i>	<i>69</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tabuľka 4-1: Technické parametre generátorov v HC Jasenie[7]</i>	18
<i>Tabuľka 4-2: Technické parametre generátorov v HC Jasenie[7]</i>	18
<i>Tabuľka 4-3: Technické parametre tyristorového budiča v HC Jasenie[7]</i>	19
<i>Tabuľka 4-4: Technické parametre transformátorov v HC Jasenie[7]</i>	19
<i>Tabuľka 4-5: Inštalované ochrany v rozvodni 5,2 kV v HC Jasenie[7]</i>	20
<i>Tabuľka 4-6: Inštalované ochrany v rozvodni 22 kV v HC Jasenie[7]</i>	20
<i>Tabuľka 4-7: Vyrobená elektrická energia v HC Jasenie za rok 2017 [9]</i>	23
<i>Tabuľka 5-1: Technické parametre keramického izolátoru VZL 50/435 podľa [24]</i>	25
<i>Tabuľka 5-2: Technické parametre keramického izolátoru VPA 135/08 podľa [25]</i>	25
<i>Tabuľka 5-3: Technické parametre lana AlFe 6 podľa [19]</i>	25
<i>Tabuľka 5-4: Technické parametre keramického izolátoru VPA 135/12a [46]</i>	27
<i>Tabuľka 5-5: Technické parametre keramického izolátoru LP 60/7/490 [29]</i>	29
<i>Tabuľka 6-1: Menovité parametre vstupných analógových hodnôt ochrany [31]</i>	32
<i>Tabuľka 6-2: Technické parametre meracieho transformátoru prúdu CTT 25 [32]</i>	33
<i>Tabuľka 6-3: Technické parametre meracieho transformátoru napätia VTS 25P [33]</i>	33
<i>Tabuľka 6-5: Význam jednotlivých parametrov sériovej linky [38]</i>	43
<i>Tabuľka 7-1: Parametre skupiny záložných transformátorov</i>	45
<i>Tabuľka 7-2: Základné parametre záložného transformátoru T1[40]</i>	45
<i>Tabuľka 8-2: Hodnoty izolačných hladín a ochranných úrovní zvodíčov prepätia [18]</i>	64
<i>Tabuľka 8-3: Menovité parametre použitého obmedzovača prepätia MWK 27 v HC Jasenie [48]</i>	67
<i>Tabuľka 8-4: Menovité parametre použitého obmedzovača prepätia MWK 27 v rozvodni Starého závodu</i>	68

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

Značka	Veličina	Jednotka
a	Rozpätie	m
a	Účinná vzdialenosť	m
a_{max}	Maximálne rozpätie	m
c	Parameter krivky	m
c	Napät'ový koeficient	-
c_0	Objemová hustota tepelnej kapacity vodiča	J/m ³ ·°C
d	Priemer	mm
d_{xy}	Osová vzdialenosť	m
f	Frekvencia	Hz
g_l	Tiaž 1 m vodiča	N/m
h	Spád	m
h	Výška	m
i_0	Pomerný prúd naprázdno	%
i_p	Nárazový skratový prúd	kA
k	Koeficient rešpektujúci usporiadanie vodičov a ich fázový posun	-
k_k	Činiteľ krútenia	-
k_p	Činiteľ priehybu	-
k_s	Činiteľ skinefektu	-
k_t	Činiteľ oteplenia	-
l	Vzdialenosť podpier	m
l_p	Merná povrchová dráha	mm/kV
m	Súčiniteľ pre tepelné účinky jednosmernej zložky skratového prúdu	-
n	Súčiniteľ pre tepelné účinky striedavej zložky skratového prúdu	-
n	Otáčky	1/min
p	Prevod	-
q	Súčiniteľ plasticity	-
r	Polomer	mm
s	Hrúbka steny rúrkového vodiča	mm
u_k	Pomerné napätie nakrátko	%

x_d''	Rázová reaktancia	-
z	Poměrná hodnota přetáženía	-
BIL	Izolačná hladina	kV
C_{pk}	Merná prevádzková kapacita	nF/km
D	Priemer	mm
E	Vyrobená elektrická energia	MWh
F_B	Ťahová sila v závesnom bode	kN
F_N	Pevnosť lana	kN
F_m	Sila pôsobiaca na dva rovnobežné vodiče	N
F_O	Mechanická porušujúca sila v ohybe	kN
F_{VB}	Vertikálna sila namáhania v závesnom bode	kN
F_T	Mechanická porušujúca sila v ťahu	kN
I	Prúd	A
I_{dyn}	Dynamický skratový prúd	kA
I_{EE}	Zemný prúd	A
I_K	Charakteristické zaťaženie námrazou	N/m
I_k''	Počiatočný rázový skratový prúd	kA
I_{max}	Maximálny prúd	A
I_n	Menovitý prúd	A
I_p	Primárny prúd	A
I_R	Referenčné zaťaženie námrazou	N/m
I_s	Sekundárny prúd	A
I_0	Netočivá zložka prúdu	A
J	Moment zotrvačnosti	m ⁴
K_H	Súčiniteľ výšky	-
L	Dĺžka	mm
L_p	Povrchová dráha	mm
L_{pk}	Merná prevádzková indukčnosť	mH/km
P	Činný výkon	W
P_{max}	Maximálny činný výkon	W
ΔP_0	Straty naprázdno	kW
ΔP_k	Straty nakrátko	kW
Q	Jalový výkon	VAr

Q	Hltnosť turbíny	m^3/s
Q_{max}	Maximálny Jalový výkon	VAr
R	Polomer	mm
R	Rezistencia	Ω
R_k	Merná rezistencia	Ω/km
$R_{p0,2}$	Medza rozťažnosti materiálu	MPa
S	Zdanlivý výkon	VA
S	Prierez	mm^2
S_{AL}	Prierez hliníkovej časti AlFe lana	mm^2
S_{min}	Minimálny prierez	mm^2
S_{max}	Maximálny zdanlivý výkon	VA
S_n	Menovitý prierez	mm^2
S_{nT}	Menovitý zdanlivý výkon transformátoru	VA
T_k	Doba trvania skratu	s
U	Napätie	V
U_c	Prevádzkové napätie	kV
U_m	Najvyššie napätie siete	kV
U_n	Menovité napätie	kV
U_p	Ochranná hladina	kV
U_{res}	Zostatkové napätie	kV
U_s	Sekundárne napätie	kV
U_{TOV}	Dočasné napätie	kV
U_0	Netočivá zložka napätia	V
V_σ	Pomer dynamického a statického príspevku namáhania hlavného vodiča	-
V_r	Pomer príspevku úspešného a neúspešného opätovného zapnutia k dynamickému namáhaniu hlavného vodiča	-
X	Reaktancia	Ω
Z	Prierezový modul	m^3
\bar{Z}	Impedancia	Ω
β	Súčiniteľ rešpektujúci typ upevnenia	-
γ	Merná tiaž vodiča	$\text{N}/\text{m} \cdot \text{mm}^2$
γ_F	Čiastkový koeficient zaťaženia	-
γ_M	Čiastkový koeficient materiálu	-

κ	Súčiniteľ pre výpočet nárazového skratového prúdu	-
μ_r	Relatívna permeabilita	-
ρ_{AL}	Rezistivita hliníku	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$
ρ_{20}	Rezistivita medi pri 20 °C	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
σ_H	Vodorovné namáhanie vo vodiči	MPa
σ_{TOT}	Maximálne namáhanie	MPa
ω	Uhlová frekvencia	rad/s
ϑ_f	Fiktívna teplota	°C
ϑ_k	Dovolená teplota pri skrate	°C
ϑ_z	Dovolená teplota pri preťažení	°C

Skratka	Význam
<i>vn</i>	Vysoké napätie
EAF	Elektrická oblúková pec
HC	Hydrocentrála
LF	Panvová pec
LPZ	Zóna ochrany pred bleskom
MVE	Malá vodná elektráreň
PTP	Prístrojový transformátor prúdu
PTN	Prístrojový transformátor napätia
SPD	Obmädzovač prepätia
SSE	Stredoslovenská energetika
ŽP	Železiarne Podbrezová a.s.

1 ÚVOD

Veľké priemyselné podniky sú často náročné na spotrebu elektrickej energie, nehovoriac ak sa jedná o výrobu s elektrickou oblúkovou pecou. V takomto prípade je veľkou výhodou dispozícia vlastných zdrojov výroby elektrickej energie, využitím poskytnutého potenciálu okolitého prostredia. Železiarne Podbrezová a.s. sa v prvej polovici minulého storočia rozhodli túto príležitosť využiť a už takmer celé storočie využívajú vyrobenú elektrickú energiu z okolitých malých vodných elektrární, ktoré si sami spravujú a prevádzkujú. Výsledkom takejto činnosti je zvýšenie hospodárnosti, úspora finančných zdrojov podniku, čiastočná nezávislosť a vytvorenie ďalších pracovných miest pre ľudí z regiónu.

Keďže tieto vodné elektrárne majú sa sebou takmer storočie prevádzky, bolo nevyhnutné realizovať modernizáciu a rekonštrukciu nielen jednotlivých zariadení, ale aj väčších celkov. Od previnutia samotných generátorov, cez výmenu ochrán, až po rekonštrukciu vedenia. Podobná situácia nastáva v posledných rokoch, keď životnosť mnohých zariadení je na konci, poprípade sú dostupné nové technológie a metódy, ktoré dokážu uľahčiť fungovanie pri bezporuchovom stave, ako aj pri odstraňovaní porúch.

Vďaka týmto opatreniam sa dá dosiahnuť zlepšenie spoľahlivosti dodávky elektrickej energie, ako aj zvýšenie bezpečnosti prevádzky, čo má za následok niekoľko ďalších dôsledkov. Úspora finančných prostriedkov vďaka zníženiu počtu poruchových stavov, ich celkovej doby trvania ako aj vďaka výmene menšieho počtu poškodených častí. Rovnako sa dá dosiahnuť aj zlepšenie prehľadnosti prevádzky vplyvom kontroly meraných veličín priamo z miesta spoločnosti.

2 HISTÓRIA A POPIS ČINNOSTI SPOLOČNOSTI

Železiarne Podbrezová a.s. je spoločnosť sídliaca na strednom Slovensku, ktorá je zameraná na výrobu ocele, oceľových bezšvíkových rúr a rôznych hutníckych druhovýrobov. Je popredným výrobcom v Európe a dodávateľom pre automobilový, strojársky a energetický priemysel do 60 krajín sveta [3].

Tieto oceliarske závody boli založené v roku 1840, pričom medzi ich prvé výrobky patrili koľajnice, plechy a tyčové železo. V roku 1883 bola do prevádzky prvýkrát uvedená výroba valcovaných a ťahaných zvarovaných rúr. Dnes práve produkcia rúr tvorí dominantnú zložku výroby spoločnosti. Počas týchto rokov železiarne získali viaceré medzinárodné ocenenia kvality. Počas druhej polovice 19. storočia prešli železiarne modernizáciou a menili sa aj princípy výroby, kde sa najskôr začínalo s pudlovanými pecami a neskôr sa prešlo na siemens-martinské [2, 4].

S rastom železiární sa museli rozvíjať aj odvetvia, bez ktorých by sa výroba a spracovanie ocele nemohli zaobiť. Keďže sa železo tavilo v elektrických oblúkových peciach, s rastúcou výrobou bolo treba pokryť rastúcu spotrebu elektrickej energie. Spoločnosť sa rozhodla vyriešiť tento problém využitím vodného potenciálu regiónu a tak sa začali budovať malé vodné elektrárne, ktoré sú detailnejšie popísané v kapitole 3 [1]

Počas druhej svetovej vojny boli poškodené takmer všetky prevádzkové budovy, ich zariadenia a vybavenie. Preto sa neskôr muselo začať s celkovou prestavbou a spoločnosť si prevzal štát. V polovici minulého storočia patrili železiarne spolu s inými závodmi v okolí pod Stredoslovenské železiarne n.p. a neskôr Švermove železiarne. V roku 1950 zastihli železiarne zásadné organizačné zmeny, ktoré mali dopad na rozvoj, investície a výstavbu na ďalšie závody. V roku 1968 sa začala výstavba Nového závodu, kde sa po dokončení výstavby ťahali rúry malého priemeru, a vďaka modernej technike sa znížil podiel ručnej práce, čím sa zvýšili efektivita a hospodárnosť celej prevádzky [1, 4].

Ďalšiu pozitívnu zmenu do Švermových železiární priniesli rokovania medzi ČSSR a ZSSR o zvýšenom vývoze rúr. Vďaka tejto dohode mali v závode pribudnúť elektrické oblúkové pece, zariadenia na plynulé odlievanie ocele ako aj ďalšia ťaháreň rúr. Počas týchto rokov vznikol nesúlad medzi starou a novou technológiou, ktorý sa musel vyriešiť postavením novej elektrooceliarne. Po konci éry socializmu v roku 1992 vznikla akciová spoločnosť Železiarne podbrezová a.s. a tak prešiel celý komplex od štátu do súkromného vlastníctva [1]

V ďalších rokoch spoločnosť ďalej napredovala, získala ďalšie certifikáty a začala sa rozrastať aj v iných odvetviach. Vplyvom transformácie zo štátneho podniku na akciovú spoločnosť došlo k oddeleniu spoločností, ktoré priamo nesúviseli s výrobným procesom a tak začali vznikať dcérske spoločnosti, ktoré patria pod ŽP Group. Medzi ďalšie činnosti spoločnosti, ktoré nespádajú pod výrobu patrí založenie ŽP Šport a.s. a otvorenie súkromného gymnázia spolu s otvorením hutníckeho učilišťa. V posledných rokoch v železiarňach pracuje približne 3 000 zamestnancov [1, 4, 5].

3 PREHLAD ZDROJOV VLASTNEJ VÝROBY ŽP

Železiarne Podbrezová od začiatku svojej existencie držali krok s dobou a snažili sa využívať moderné technológie a technologické postupy, ktoré viedli k zvýšeniu efektivity práce a úspore finančných zdrojov. Do tejto kategórie určite patrí aj vlastná výroba elektrickej energie, keďže pece využívané v železiarňach sú elektrické oblúčkové a ich spotreba výrazne prevyšuje bežné priemyselné podniky [2].

Na začiatku 20. Storočia sa začalo so stavbou malých vodných elektrární na využitím potenciálu okolitých vodných tokov a postupom času pribudli ďalšie vodné elektrárne ako aj paroplynová výrobňa. Svoju spotrebu pokrýva približne z jednej štvrtiny pomocou týchto vodných diel, ktorých celkový inštalovaný výkon je 5374 kW a paroplynovej kogeneračnej jednotky s elektrickým výkonom 4454 kW. V roku 2016 bolo nakúpených zhruba 163 GWh elektrickej energie a vyrobených pomocou vlastných zdrojov bolo približne 67 GWh [5, 6].

3.1 Elektráreň Piesok

Medzi prvé elektrárne, ktoré prispeli svojou výrobou do fungovania železiarní patrí vodná elektráreň Piesok, nachádzajúca sa blízko obci Valaská. Výstavba tejto elektrárne začala v roku 1903 a dokončená bola v roku 1908. Od roku 1928 v nej vyrábajú elektrickú energiu dve Francisove turbíny. Menšia turbína má výkon 435 kW a výkon do siete dodáva prostredníctvom generátoru s výkonom 670 kVA. Väčšia turbína má výkon 810 kW a je spojená s generátorom o výkone 1650 kVA. Otáčky oboch turbín sú 1000 ot/s a napätie na svorkách generátoru je 6,3 kV [6].

3.2 Hydrocentrála Dubová

Ďalšou malou vodnou elektrárnou, ktorá patrí medzi zdroje vlastnej výroby elektrickej energie patrí Dubová. Táto malá vodná elektráreň bola vybudovaná v rokoch 1902 až 1909. Zo začiatku poháňali oba generátory dve Francisove turbíny. Jedna však bola v roku 1975 pri rekonštrukcii hydrocentrály vymenená za Kaplanovú a neskôr prerobená na Propelerovú turbínu. Výkon menšej (Francisovej) turbíny s otáčkami 375 ot/min je 450 kW, ktorá je spojená s rotorom generátoru o výkone 750 kVA. Väčšia turbína s otáčkami 300 ot/min má výkon 970 kW a je pripojená ku generátoru s výkonom 1920 kVA [6].

3.3 Hydrocentrála Jasenie

Vodná elektráreň Jasenie bola vybudovaná v roku 1922 až 1924. Srdcom tejto hydrocentrály sú dve Peltonove turbíny s výkonom 810 a 1620 kW pri otáčkach 500 ot/min. Inštalovaný výkon generátorov je 1150 a 2300 kVA. Nad budovou hydrocentrály Jasenie je umiestnený vodojem Rígel s výškovým rozdielom 196 metrov, kde sa akumuluje voda z hatí Biele vody, Bauková a Lomnistá. Celková kapacita vodojemu je 10 000 m³.

Aby bol zaručený konštantný prietok počas celého roku, bola v roku 1938 vybudovaná pod hydrocentrálou vyrovnávací nádrž s kapacitou 10 000 m³. V roku 1998 až 1999 pod touto nádržou prebehla výstavba malej vodnej elektrárne Jasenie II, ktorá obsahuje Kaplanovu turbínu s výkonom 111 kW [6].

3.4 Elektráreň Predajná

V roku 1998 bola spustená do prevádzky malá vodná elektráreň Predajná, ktorá rovnako využíva vodu z Jasenia na pohon dvoch Francisciho turbín o výkone 80 a 160 kW. Svojim výkonom patrí medzi najmenší zdroj vlastnej výroby elektrickej energie v železiarňach [6].

3.5 Kogeneračná jednotka v Novom závode

Vlastná výroba elektrickej energie v Železiarňach Podbrezová a.s. nepochádza len z malých vodných elektrární. V roku 2001 sa zvýšila výroba energie pomocou paroplynového jednotky, ktorá súčasne s výrobou elektrickej energie dodáva aj teplo do závodov [6].

4 SÚČASNÝ STAV PREVÁDZKY A VYBAVENIE HC JASENIE

Stručný popis hydrocentrály Jasenie je popísaný v kapitole 3.3. V tejto časti je uvedený podrobný popis prevádzky a jednotlivých zariadení od hydrocentrály až po vstupnú rozvodňu umiestnenú v Starom závode, ktorá napája hlavnú časť železiarní, elektrickú oblúkovú pec ako aj ostatné technologické vybavenie. Hlavnou úlohou tejto kapitoly je popis a oboznámenie sa s aktuálnym stavom prevádzky, ktorý bude ďalej slúžiť pre návrh opatrení na zlepšenie spoľahlivosti prevádzky a dodávky elektrickej energie.

4.1 Vybavenie hydrocentrály Jasenie

Keďže táto vodná elektráreň dodáva elektrickú energiu do železiarní už od roku 1924, musela prejsť modernizáciou ako každé technologické zariadenie. Výnimkou však je pôvodná dvojica turbín a hydrogenerátorov, ktoré len s minimálnymi úpravami a vďaka pravidelnej údržbe pracujú už od spustenia prevádzky. Technické parametre týchto turbín a generátorov sú uvedené v nasledujúcich tabuľkách.

Tabuľka 4-1: Technické parametre generátorov v HC Jasenie[7]

Turbína	T1	T2
Typ turbíny	Peltonova - horizontálna	Peltonova - horizontálna
Výrobca	ČKD Blansko	ČKD Blansko
Rok výroby	1924	1924
Q (m ³ /s)	0,5	1
h (m)	196	196
n (1/min)	500	500
P (kW)	810	1620

Tabuľka 4-2: Technické parametre generátorov v HC Jasenie[7]

Generátor	G1	G2
Druh	3-fázový, NTG 195/60	3-fázový, NTG 119/725
Výrobca	ČKD Blansko	ČKD Blansko
Rok výroby	1924	1924
P_i (kW)	780	1560
$\cos \varphi$ (-)	0,68	0,68
U_{st} (kV)	5,2	5,2
I_{st} (A)	128	255
n (1/min)	500	500
Prevod turbíny	priamy	priamy

Oba budiace agregáty sú poháňané samostatnou Peltonovou turbínou od firmy ČKD Blansko o výkone $P_i = 45 \text{ kW}$, otáčkami $n = 1500 \text{ 1/min}$ a hltnosťou $Q = 0,035 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabuľka 4-3: Technické parametre tyristorového budiča v HC Jasenie[7]

Tyristorový budič	Dodávateľ	Rok dodávky	U_{nap} (V)	I_{vstp} (A)	$I_{výstup}$ (A)	Budenie
DIRNES UR 250/380 V	NES, s.r.o., Nová Dubnica	1995	380	200	250	G1

Regulácia napätia a fázovanie generátora sa ovláda, resp. vykonáva stále ručne. Transformátory boli v priebehu prevádzky vymenené a pravidelne podliehajú revíznym skúškam. Ich dostupné technické parametre sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:

Tabuľka 4-4: Technické parametre transformátorov v HC Jasenie[7]

Transformátor	T2	T3	T4	T5
S_{nt} (kVA)	1000	3000	1000	400
p (-)	5,2/22	5,2/22	5,2/22	22/0,4
u_k (%)	6,1	8	6,1	-
Zapojenie vinutia	Yy0	Yy0	Yy0	Dy1

Transformátor T3 sa využíva pre vyvedenie výkonu, pričom transformátory T2 a T4 slúžia ako záloha, pri výpadku tohto transformátoru. T5 pracuje pre vlastnú spotrebu tejto hydrocentrály.

Rozvodňa v HC Jasenie je rozdelená na dve časti podľa napäťovej úrovne, čiže rozvodňa 5,2 kV a rozvodňa 22 kV. Ich schémy s popismi sú uvedené v prílohách [7].

4.1.1 Rozvodňa 5,2 kV

Táto rozvodňa je umiestnená na prízemí HC Jasenie a je vybavená olejovými vypínačmi typu HK 4-6B, 630 A, 10 kV, ručne ovládanými odpojovačmi, meraním napätia v kobke č. 1. Bleskoistky sa nachádzajú v kobke č. 2.

V kobkách č. 3 a 4 sú prírody generátorov G1 a G2 spolu s prístrojovými transformátormi na meranie prúdu a napätia.

Napätie z generátorov je privedené do kobiek č. 6, 7 a 10, kde sú prírody na primárnu stranu transformátorov na napäťovej hladine 5,2 kV. Menovité výkonu transformátorov podľa poradí kobiek sú 1000, 3000 a 1000 kVA. Každý transformátor je vybavený prístrojovým transformátorom prúdu s prevodom 100 na 5 A respektíve 300 na 5 A.

Kobka č. 5 má vývod pre transformátor T1, avšak aktuálne je komora transformátora prázdna. Kobky č. 8 a 9 slúžia ako rezerva [7].

Tabuľka 4-5: Inštalované ochrany v rozvodni 5,2 kV v HC Jasenie[7]

Vývod	Názov	Druh ochrany
Kobka č. 3 (G1)	7SJ6025 SIEMENS	Číslicová kombinovaná nadprúdová
	V10N	Nadpät'ová
Kobka č. 4 (G2)	7UM6115 SIEMENS	Číslicová kombinovaná nadprúdová
	V10N	Nadpät'ová
Kobka č. 5	AT 21X	Nadprúdová - preťaženie
Kobka č. 6	AT 31X	Nadprúdová - preťaženie
Kobka č. 7	SPAJ 141 C	Číslicová kombinovaná nadprúdová
Kobka č. 10	AT 31 X	Nadprúdová - preťaženie

4.1.2 Rozvodňa 22 kV

Podobne ako rozvodňa 5,2 kV je aj táto časť hydrocentrály vybavená ručne ovládanými odpojovačmi a vypínačmi typu HG 6-9, 1250 A, 22 kV. Kobka č. 1 je prázdna, ale je vybavená pre pripojenie transformátoru T1. Táto rozvodňa je umiestnená na 1. poschodí HC Jasenie.

V kobkách č. 2, 4 a 6 sú vývody sekundárnej strany transformátorov, pričom v každej kobke je umiestnený prístrojový transformátor prúdu .

Vlastná spotreba je vyvedená v kobke č. 5, ktorá obsahuje vývod pre vlastnú spotrebu, meranie napätia a prúdu. Transformátor vlastnej spotreby má prevod 22/0,4 kV a jeho výkon je 400 kVA.

Vyvedenie výkonu je realizované v kobke č. 3, ktoré je vybavené bleskoistkou, tlmivkou, meraním prúdu a napätia. Prevod PTP je 75/5 A a prevod PTU je 22000/100 V [7].

Tabuľka 4-6: Inštalované ochrany v rozvodni 22 kV v HC Jasenie[7]

Vývod	Názov	Druh ochrany
Kobka č. 1 (T1)	AT 31 X	Nadprúdová - preťaženie
Kobka č. 2 (T2)	AT 31 X	Nadprúdová - preťaženie
Kobka č. 3 (vyvedenie výkonu)	SPAJ 140C/P	Číslicová kombinovaná nadprúdová
Kobka č. 4 (T3)	7SJ6025 SIEMENS	Číslicová kombinovaná nadprúdová
Kobka č. 5 (vlastná spotreba)	AT 31 X	Nadprúdová - preťaženie
	A 32	Nadprúdová - skrat
Kobka č. 6 (T4)	AT 31 X	Nadprúdová - preťaženie

4.2 Vybavenie vstupnej rozvodne

Táto rozvodňa je umiestnená v Starom závode, kde sa stretávajú prívody zo vzdušných vedení 110 kV distribučnej siete a prívody z vlastnej výroby. Je rozdelená na tri menšie rozvodne podľa napätia: 22 kV, 6 kV a 0,4 kV pre vlastnú spotrebu [8].

4.2.1 Rozvodňa 22 kV v Starom závode

Rozvodňa 22 kV pozostáva z 24 kobiek a je rozdelená na dve hlavné časti. Pecná sekcia pozostáva z kobky č. 1 až 6, ktoré slúžia na napájanie elektrickej odporovej pece. Táto časť rozvodne je pripojená pomocou jednoduchého prípojnícového systému.

Kobka č. 1 slúži ako prívod pre celú pecnú sekciu a je napájaná z distribučného transformátora T103 110/22 kV o výkone 63 MVA. Tento transformátor je napájaný linkou 110 kV z rozvodne v Podbrezovej. Vybavenie kobky obsahuje meranie prúdu a napätia. V tejto kobke sú umiestnené odpojovače a plynové vypínače rovnako ako aj v kobke č. 2, ktorá slúži na napájanie pece EAF.

Kobka č. 3 momentálne slúži ako rezerva a obsahuje iba odpojovač typu OM 22/1250-30. V kobke č. 4 sú umiestnené bleskoistky a je vybavená meraním napätia pomocou PTP.

Kobka č. 5 slúži ako vývod na pec LF a je vybavená meraním prúdu, odpojovačom a plynovým vypínačom typu YF-25.12.25. Kobka č. 6 je vybavená podobne ako kobky č. 1 a 2, a v nej sa nachádza vývod pre kompenzáciu elektrickej odporovej pece.

Druhá časť rozvodne 22 kV v Starom závode napája ostatné technologického a výrobné vybavenie, a ďalej obsahuje prívody z vlastných zdrojov spotreby. Napájaná je pomocou dvojitého prípojnícového systému.

Nasledovné kobky sú rezervné: 7, 8, 15, 16, 17, 20, 22, 23. Väčšina však obsahuje vybavenie pre meranie prúdu a napätia pomocou prístrojových transformátorov, odpojovače a plynové vypínače.

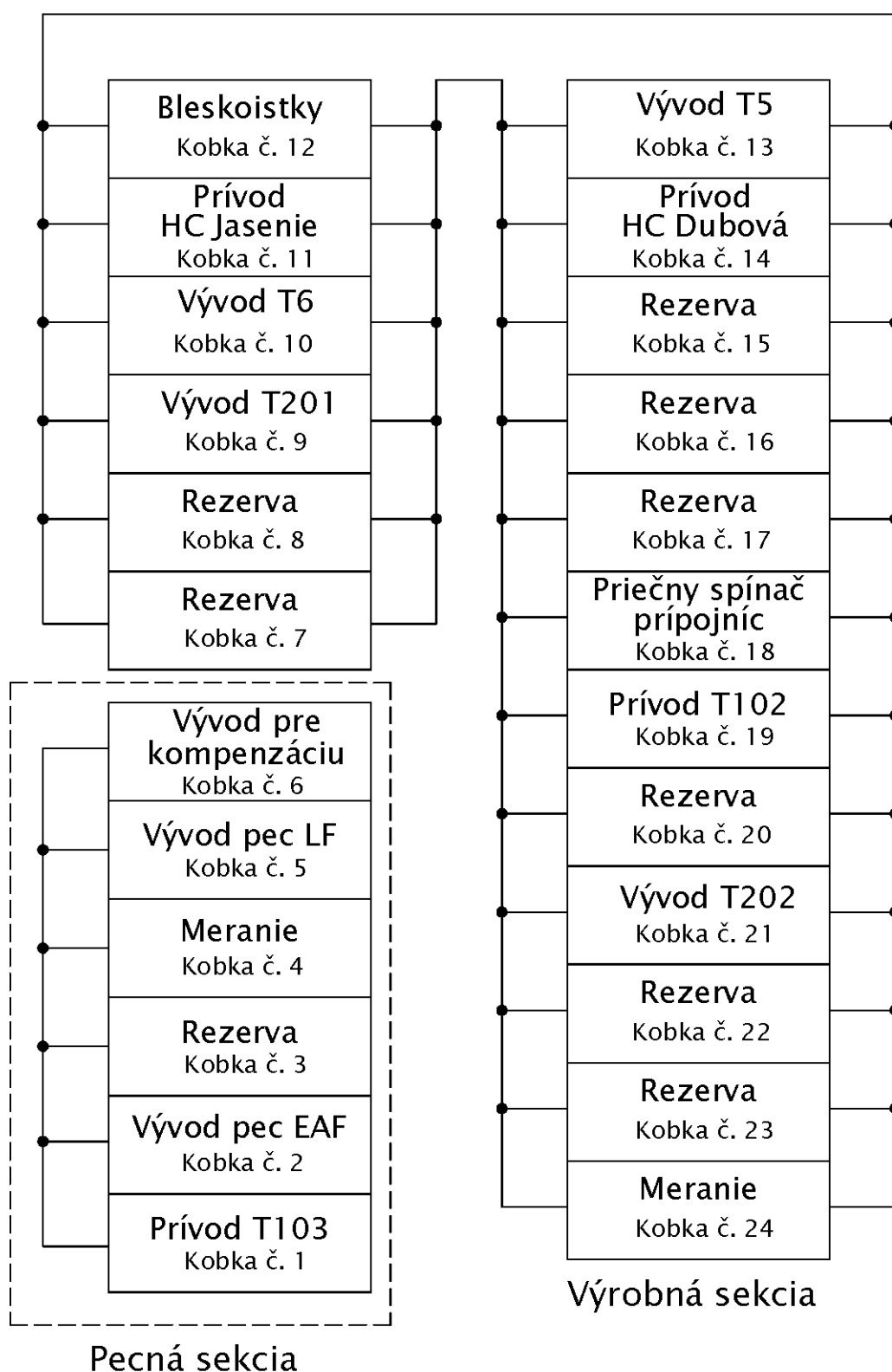
Kobka č. 9 slúži ako vývod pre transformátor T201 s prevodom 22/6 kV a menovitým výkonom 16 MVA. Kobka č. 10 je rovnako vývodová pre transformátor T6 s prevodom 22/0,4 kV a výkonom 1,25 MVA pre rozvodňu EOP.

Prívod z HC Jasenie je v kobke č. 11, ktorá je vybavená meraním prúdu a napätia. Prívod z HC Dubová a MVE Predajná je umiestnený v kobke č. 14, ktorej sú rovnako osadené prístrojové transformátory na meranie prúdu a napätia.

Bleskoistky pre obe hlavné prípojnice sú umiestnené v kobke č. 12. Priečny spínač týchto prípojníc sa nachádza v kobke č. 18 a je vybavený meraním prúdu.

Kobka č. 13 slúži ako vývod pre transformátor T5 s prevodom 22/0,4 kV a výkonom 1,25 MVA pre napájanie rozvodne EOP. Vývod pre napájanie rozvodne 6 kV je v kobke č. 21, kde je umiestnený transformátor T202 s prevodom 22/6 kV a výkonom 16 MVA.

V tejto časti rozvodne je aj prívod z distribučnej siete 110 kV pomocou transformátora T102 s prevodom 110/22 kV a výkonom 25 MVA. Zjednodušená schéma tejto rozvodne je zobrazená na nasledujúcom obrázku [8]. Podrobné schémy všetkých rozvodní sú v prílohách.



Obrázok 4-1: Zjednodušená schéma vstupnej rozvodne 22 kV v Starom závode

4.3 Aktuálny stav prevádzky

HC Jasenie ako jedna z mála elektrární na strednom Slovensku umožňuje reguláciu výkonu vďaka akumulácií vody vo vodnej nádrži Rígel'. Výroba elektrickej energie je teda závislá na množstve zrážok a vody, ktoré sú schopné jednotlivé hate odkloniť do tohto vodojemu.

Táto hydrocentrála nevyrába elektrickú energiu len pre železiarne, ale slúži aj ako podporná služba Stredoslovenskej energetiky na dosiahnutie výkonovej bilancie a teda reguláciu frekvencie. Regulačný výkon, ktorý musí elektrárňu umožniť je 100 až 2400 kW. V závislosti od toho sa odvíja množstvo dodávanej energie, ktoré slúži na vlastnú spotrebu v železiarňach. Prehľad vyrobenej elektrickej energie za minulý rok podľa jednotlivých mesiacov je uvedený v nasledujúcej tabuľke [10].

Tabuľka 4-7: Vyrobená elektrická energia v HC Jasenie za rok 2017 [9]

Mesiac	E (MWh)
Január	769,5
Február	529,56
Marec	1 159,56
Apríl	1 389,42
Máj	1 483,92
Jún	1 033,56
Júl	943,2
August	583,02
September	755,82
Október	1 067,22
November	1 235,52
December	1 022,04
Spolu	11 972,34

Počas celej prevádzky pracujú oba generátory súčasne a ich výkon sa mení v závislosti od prietoku vody. V minulom roku bolo počas celej prevádzky vyvedenie výkonu realizované len cez transformátor T3 s menovitým výkonom 3000 kVA. Ostatné transformátory boli prevádzkované ako záloha pre prípad výpadku tohto transformátora. Na hladine 22 kV je elektrická energia ďalej prenášaná pomocou vzdušného vedenia s dĺžkou 8706 metrov, kde je použité lano AlFe 6 s prierezom 95 mm², smerujúceho do vstupnej rozvodne v Starom závode, kde je prívod umiestnený v kobke č. 11. Na tejto trase sú dve odbočky vedenia pre čerpaciu stanicu Lopej a Stredoslovenskú energetiku. Približne v polovici trasy sa vedenie pripája na stožiar so vzdušným vedením 22 kV, ktoré vedie z HC Dubová. Celá sieť je prevádzkovaná ako izolovaná [10].

Pri vzniku poruchy na tejto trase je postup nasledovný: Pomocou údajov z ochrán sa zistí či sa jedná o zemné spojenie alebo skrat. Generátory ďalej pracujú a čaká sa či porucha odznie

alebo pretrváva. Ak je pretrvávajúca porucha skrat, ochrany vybavia a generátory sa musia odbudiť. Pri pretrvaní zemného spojenia sa pokračuje ďalej v prevádzke a vizuálnou obhliadkou trasy sa hľadá miesto a príčina poruchy. V minulosti boli zemné spojenia zavinené degradáciou izolátorov ako aj nedodržaním vzdialenosti ochranného pásma vlastníckmi pozemkov v okolí vedenia, pretože časť tejto linky je vedená lesom [10].

Vo vstupnej rozvodni sa zbiehajú všetky privody, ktoré napájajú Starý závod. Pecná sekcia má vyhradené samostatné napájanie z distribučnej sústavy 110 kV Stredoslovenskej energetiky cez transformátor T103 a vlastná spotreba tejto sekcie je napájaná z transformátoru T315. Z tejto časti rozvodne vedie kábel na napäťovej hladine 22 kV, ktorý napája transformátory oboch pecí. Výrobná sekcia je napájaná takisto z distribučnej sústavy 110 kV SSE ale nezávisle na pecnej sekcii z rozvodni v Medzibrode a využíva výrobu z HC Jasenie, Dubová a MVE Predajná. Napájané sú z nich všetky technologické zariadenia ako motory, pohony, žeriavy, kompresory a pod [7, 8, 10].

4.4 Návrh zmien a úprav pre zvýšenie spoľahlivosti prevádzky HC Jasenie

Cieľom tejto časti je popísať a vymedziť jednotlivé body, ktoré budú predmetom tejto práce, a budú slúžiť k zlepšeniu spoľahlivosti dodávky elektrickej energie.

Počas minulého roku bol celý čas v prevádzke transformátor T3 s menovitým výkonom 3000 kVA. Pri výpadku tohto transformátora slúžia ako záloha transformátory T2 a T4 s menovitými výkonmi 1000 kVA. Z toho vyplýva, že aktuálna záloha hlavného transformátora T3 nie je dostatočujúca a preto treba navrhnúť prídavný záložný transformátor T1, ktorý by pracoval paralelne s transformátormi T2 a T4 pri výpadku hlavného transformátora.

Prepät'ovú ochranu v tejto hydrocentrále zabezpečujú bleskoistky staršieho vyhotovenia, ktorých životnosť sa blíži ku koncu a správna funkcia nie je zaručená. Z toho vyplýva návrh modernizácie prepät'ových ochrán rovnako aj pre vstupnú rozvodňu v Starom závode, kde sa nachádzajú prvky, ktoré sú nechránené voči atmosférickým prepät'iam.

Keďže je HC Jasenie vzdialené od budovy energetiky niekoľko kilometrov, údaje z ochrán musí odčítavať obsluha hydrocentrály, čo často komplikuje prehľadnosť a aktuálnosť týchto informácií. Ďalším návrhom je teda vyriešiť tento problém prenosom dát z ochrán priamo do budovy energetiky a tým sledovať zaznamenané udalosti podľa potreby.

Počas minulých rokov sa zvyšovala početnosť zemných spojení vyvolaná poruchami izolátorov. Keďže takéto miesto poruchy sa dá zistiť len vizuálnou obhliadkou a životnosť izolátorov je na konci, vznikla požiadavka na výmenu izolátorov a armatúr na celej linke 22 kV.

Z predchádzajúceho bodu vyplýva aj problém nájdenia miesta poruchy pri zemnom spojení, čo by pri rozsiahlej 22 kV sieti čiastočne dokázala vyriešiť smerová zemná ochrana, umiestnená v HC Jasenie ako aj vo Vstupnej rozvodni, ktorá by určila v ktorej časti siete sa táto porucha vyskytla, a tým by zjednodušila lokalizáciu poruchy a znížila čas poruchového stavu. Pri poruchách ako sú skrat by táto ochrana takisto dokázala určiť smer poruchy a tak vymedziť lokalitu poruchy.

5 PREIZOLÁCIA VEDENIA 22 kV

HC Jasenie a Vstupná rozvodňa sú spojené vzdušným vedením č. 387 na napäťovej hladine 22 kV, lanom AlFe 6 s prierezom 95 mm². Toto vedenie s dĺžkou 8704 metrov je zavesené na 65 oceľových priehradových stožiaroch. V dĺžke 4860 metrov vedie ako samostatné jednoduché vedenie, kde sa ďalej spája s vedením z HC Dubová a pokračuje ako dvojité. Vplyvom starnutia jednotlivých častí sa zvyšuje riziko poruchy. V tomto prípade sa jedná o zemné spojenia spôsobené poruchou izolátorov. So zvyšujúcim sa výskytom porúch tejto príčiny, vzniklo rozhodnutie vykonať kompletnú výmenu izolátorov na celej dĺžke vedenia z HC Jasenie do Vstupnej rozvodne. Návrh by mal obsahovať určenie použitých izolátorov s kontrolou na účinky mechanického namáhania podľa príslušných noriem.

Na vzdušnom vedení sú pre uchytenie AlFe lán použité závesné izolátory typu VZL 50/435 a podperné izolátory typu VPA 135/08. Ich technické parametre sú nasledovné:

Tabuľka 5-1: Technické parametre keramického izolátoru VZL 50/435 podľa [24]

L (mm)	L_p (mm)	Výdržné striedavé napätie (kV)		Mechanická porušujúca sila v ťahu (kN)
		za sucha	za dažďa	
435	750	125	80	50

Tabuľka 5-2: Technické parametre keramického izolátoru VPA 135/08 podľa [25]

L (mm)	L_p (mm)	Výdržné striedavé napätie (kV)		Mechanická pevnosť v ohybe (kN)
		za sucha	za dažďa	
320	540	135	55	8

Tabuľka 5-3: Technické parametre lana AlFe 6 podľa [19]

S_n (mm ²)	F_N (kN)	S (mm ²)	d (mm)	g_l (N/m)	σ_H (MPa)
95	32,2	107,666	13,6	3,225	96

5.1 Požiadavky na izolátory vn

Pre správne navrhnutie izolátorov je potrebné dodržať požiadavky stanovené normou. Podľa [26] musia izolátory vyhovieť podmienkam pre mechanické aj elektrické namáhanie, ktoré sú:

- Podperné izolátory nosné a rohové musia odolať 2,5-násobku ťahovej sily vodiča s uvažovaním náhodného zaťaženia. Pre izolátory, na ktorých je vedenie ukončené, nesmie táto sila prekročiť 3-násobok.
- Pri závesných izolátoroch nesmie byť prekročená elektromechanická únosnosť pri zaťažení 3-násobkom ťahovej sily vyvolanej vodičom s uvažovaním náhodného zaťaženia.
- Nosné svorky a spojovacie armatúry nosných závesov musia uniesť zaťaženie 2,5-násobku súčtu tiaže príslušnej časti závesu a sily vyvolanej vodičom. Táto podmienka platí aj pre kotevné svorky a spojovacie armatúry kotevných závesov, a v oboch prípadoch sa uvažuje pôsobenie náhodného zaťaženia.

- Skúšky izolátorových závesov musia vyhovieť izolačným hladinám

Medzi kritériá správneho návrhu patrí aj kontrola medzných stavov zaťaženia:

- Medzný stav únosnosti – stav spojený s konštrukčnými poruchami a poškodením vodičov, pričom ťah vodiča v ktoromkoľvek mieste a počas akéhokoľvek zaťaženia nesmie prekročiť hodnotu 68 % matematickej pevnosti AlFe vodiča.
- Medzný stav použiteľnosti – stanovený podmienkami, pri ktorých už vedenie nesplňuje základné prevádzkové požiadavky. Pri tomto stave nesmie ťah vodiča v ktoromkoľvek mieste a počas akéhokoľvek zaťaženia prekročiť hodnotu 58 % matematickej pevnosti AlFe vodiča pri úrovni spoľahlivosti 1.

5.2 Návrh izolátorov pre vzdušné vedenie 22 kV č. 387

Stanovenie mechanického namáhania podľa [26] vyplýva zo zaťaženia vodičom a náhodným zaťažením vodiča. Náhodné zaťaženie môže spôsobiť námraza, vietor, teplota alebo ich kombinácia. Za najhorší prípad mechanického zaťaženia sa v tomto prípade bude uvažovať námraza pri -5°C , pretože potrebné údaje o vetre nie sú k dispozícii. Podľa [27] sa vedenie nachádza v námrazovej oblasti I-5. Tým, že podstatná časť vedenia je umiestnená vo výške 20 m, táto hodnota sa bude brať ako vzťažná. Mechanické namáhanie v závesnom bode sa vypočíta nasledovne:

Referenčné zaťaženie námrazou sa vypočíta ako:

$$I_R = 29,00 + 0,668 \cdot d = 29,00 + 0,668 \cdot 13,6 = 38,08 \text{ N/m}, \quad (5.1)$$

kde d je priemer vodiča (mm). Charakteristické zaťaženie sa vypočíta ako:

$$I_K = K_h \cdot I_R = \left(\frac{h}{10}\right)^{0,25} \cdot I_R = \left(\frac{20}{10}\right)^{0,25} \cdot 38,08 = 45,29 \text{ N/m}, \quad (5.2)$$

kde K_h je súčiniteľ výšky pre zaťaženie námrazou (-) a h je výška stožiaru (m). Pomerná hodnota preťaženia námrazou vyjadruje kombináciu námrazy a tiaže lana:

$$z = \frac{g_1 + I_K}{g_1} = \frac{3,225 + 45,29}{3,225} = 15,04, \quad (5.3)$$

kde g_1 je tiaž samotného lana (N/m). Merná tiaž vodiča sa vypočíta ako:

$$\gamma = \frac{g_1}{S} = \frac{3,225}{107,7 \cdot 10^{-6}} = 29,94 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2 \cdot \text{m}, \quad (5.4)$$

kde S je prierez celého lana podľa tabuľky 5-3 (m^2). Parameter krivky sa vypočíta ako:

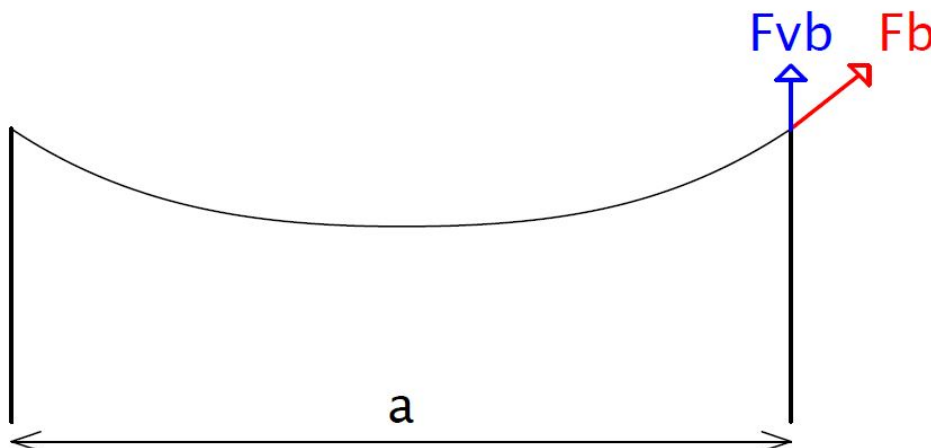
$$c = \frac{\sigma_H}{\gamma \cdot z} = \frac{96 \cdot 10^6}{29,94 \cdot 10^3 \cdot 15,04} = 213,2 \text{ m}, \quad (5.5)$$

kde σ_H je vodorovné namáhanie vo vodiči (Pa). Celkový ťah v závesnom bode pre maximálne uvažované rozpätie 150 m sa vypočíta ako:

$$F_B = c \cdot \cosh\left(\frac{a}{2c}\right) \cdot (g_1 + I_K) = 213,2 \cdot \cosh\left(\frac{150}{2 \cdot 213,2}\right) \cdot (3,225 + 45,29) = 10,99 \text{ kN}, \quad (5.6)$$

kde a je maximálne uvažované rozpätie závesných bodov (m), určené z počtu stožiarov na dĺžku vedenia. Vertikálna sila namáhania v závesnom bode sa vypočíta ako:

$$F_{VB} = \frac{a}{2} \cdot (g_1 + I_K) = \frac{150}{2} \cdot (3,225 + 45,29) = 3,639 \text{ kN} \quad (5.7)$$

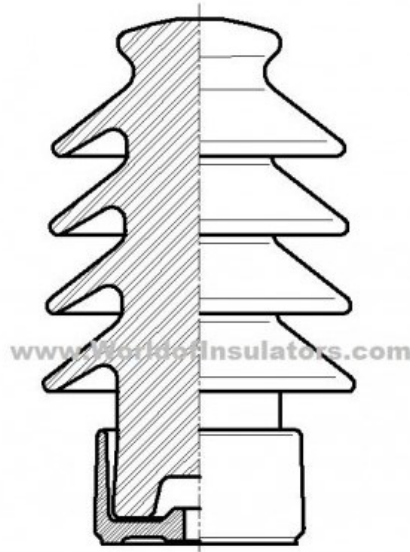


Obrázok 5-1: Sily pôsobiace v bode uchytania závesu

Podľa výrobcu izolátorov Elektroporcelán Louny a.s. je cena pôvodného podperného izolátoru VPA 135/8 zhodná s cenou izolátoru VPA 135/12a, z čoho vyplýva zvýšenie mechanickej pevnosti v ohybe za rovnakú cenu, a tým aj možnosť použitia pre väčšie rozpätia a zvýšenie spoľahlivosti. Preto sa tento izolátor bude brať ako návrhový. Jeho parametre sú uvedené v nasledujúcej tabuľke.

Tabuľka 5-4: Technické parametre keramického izolátoru VPA 135/12a [46]

L (mm)	L_p (mm)	Výdržné striedavé napätie (kV)		Mechanická pevnosť v ohybe (kN)
		za sucha	za dažďa	
320	540	135	55	12



Obrázok 5-2: Podperný keramický izolátor VPA 135/12a [46]

Pri návrhu izolátoru treba brať do úvahy podľa [28] aj čiastkový koeficient vlastnosti materiálu γ_M , ktorý pokrýva nepriaznivé odchýlky od charakteristickej hodnoty materiálu, nepresnosti a neistoty. Podperný izolátor musí vyhovieť podmienke namáhania v kapitole 5.1 a s uvažovaním čiastkového koeficientu vlastnosti materiálu nesmie vertikálna sila v závesnom bode presiahnuť:

$$F_{VB} \leq \frac{F_O}{2,5 \cdot \gamma_M} = \frac{12000}{2,5 \cdot 1,6} = 3000 \text{ N}, \quad (5.8)$$

kde F_{VB} je maximálna sila pôsobiaca na izolátor (N), F_O je mechanická pevnosť podperného izolátora v ohybe (N) a γ_M je čiastkový koeficient materiálu (-). Maximálne rozpätie, pri ktorom je možné izolátor použiť sa z rovnice 5.7 vypočíta ako:

$$a_{max} = \frac{2 \cdot F_{VB}}{(g_1 + I_K)} = \frac{2 \cdot 3000}{3,225 + 45,29} = 123,7 \text{ m}, \quad (5.9)$$

kde a_{max} je maximálna vzdialenosť závesných bodov pre izolátor VPA 135/12a.

Priemerný rozstup stožiarov na prvej časti vedenia je približne 143 m, pre druhú časť vedenia je priemerný rozstup 124 m. Z týchto údajov a rovnice 5.9 vyplýva, že pre rozpätia menšie ako 124 metrov postačuje na tomto vedení použiť jednoduchý podperný izolátor typu VPA 135/12a a pre rozpätia väčšie ako 124 metrov je nutné, aby lano podopierali dva izolátory vedľa seba, čím sa zníži mechanické namáhanie v ohybe na polovicu.

Pre návrh závesných izolátorov je potrebné brať do úvahy podmienku v kapitole 5.1, kde izolátor musí vydržať 3-násobok ťahovej sily, rovnako ako aj čiastkový koeficient zaťaženia. Jeho výdržná sila v ťahu musí byť potom:

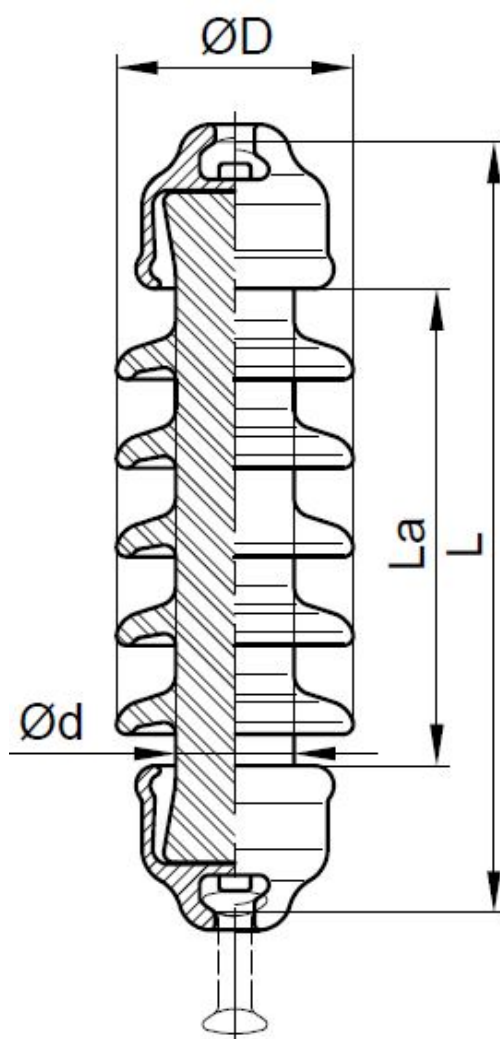
$$\begin{aligned} F_B \cdot \gamma_F \cdot 3 &\leq F_T \text{ (kN)} \\ 10,99 \cdot 1,6 \cdot 3 &\leq F_T \text{ (kN)} \\ 52,75 &\leq F_T \text{ (kN)}, \end{aligned} \quad (5.10)$$

kde F_B je ťahová sila vodiča z rovnice 5.6 (kN), γ_F je čiastkový koeficient zaťaženia podľa [28] a F_T je mechanická porušujúca sila v ťahu (kN).

Z tejto podmienky vyplýva, že pôvodný izolátor typu VZL 50/435 je nevyhovujúci. Podľa výrobcu izolátorov Elektroporcelán Louny a.s. je ekonomicky najvýhodnejší izolátor, ktorý spĺňa tieto podmienky, keramický závesný izolátor typu LP 60/7/490, s nasledujúcimi parametrami:

Tabuľka 5-5: Technické parametre keramického izolátoru LP 60/7/490 [29]

L (mm)	L_p (mm)	Výdržné striedavé napätie (kV)		Mechanická porušujúca sila v ťahu (kN)
		za sucha	za dažďa	
490	690	200	90	70



Obrázok 5-3: Závesný keramický izolátor LP 60/7/490 [29]

Nakoniec je potrebné skontrolovať dĺžku povrchovej dráhy podľa stupňa znečistenia, v ktorom sa toto vedenie nachádza. Podľa [30] sa povrchová dráha vypočíta ako:

$$L_p = l_p \cdot U_m \text{ (mm)}, \quad (5.11)$$

kde l_p je merná povrchová dráha (mm/kV) a U_m je najvyššie napätie siete. Podľa [30] je hodnota mernej povrchovej dráhy pre stupeň znečistenia II a bez požiadavky na čistenie rovná 20 mm/kV. Najvyššie napätie siete podľa [49] je 25 kV a povrchová dráha sa potom vypočíta ako:

$$L_p = 20 \cdot 25 = 500 \text{ mm}$$

Podľa údajov z tabuľky 5-4 a tabuľky 5-5 izolátory spĺňajú túto požiadavku a sú vyhovujúce vo všetkých kritériách. Tým spĺňajú všetky požiadavky a môžu byť použité pre uchytenie AlFe lán na linke č. 387 podľa uvedených podmienok.

6 NÁVRH CHRÁNENIA VEDENIA 22 kV A PRENOSU DÁT Z HC JASENIE DO BUDOVY ENERGETIKY

Medzi ďalšie spôsoby ako zvýšiť spoľahlivosť dodávky elektrickej energie sa dá zaradiť skrátenie doby poruchového stavu, či už zlepšením lokalizácie poruchy alebo prehľadom jednotlivých veličín. Z toho vyplýva požiadavka pre rýchlejšie a prehľadnejšie odčítavanie údajov z ochrán v HC Jasenie, ako aj lokalizácia možných porúch tejto prevádzky umiestnením ochrany, ktorá obsahuje funkcie vyhovujúce týmto požiadavkám.

6.1 Návrh multifunkčnej smerovej ochrany

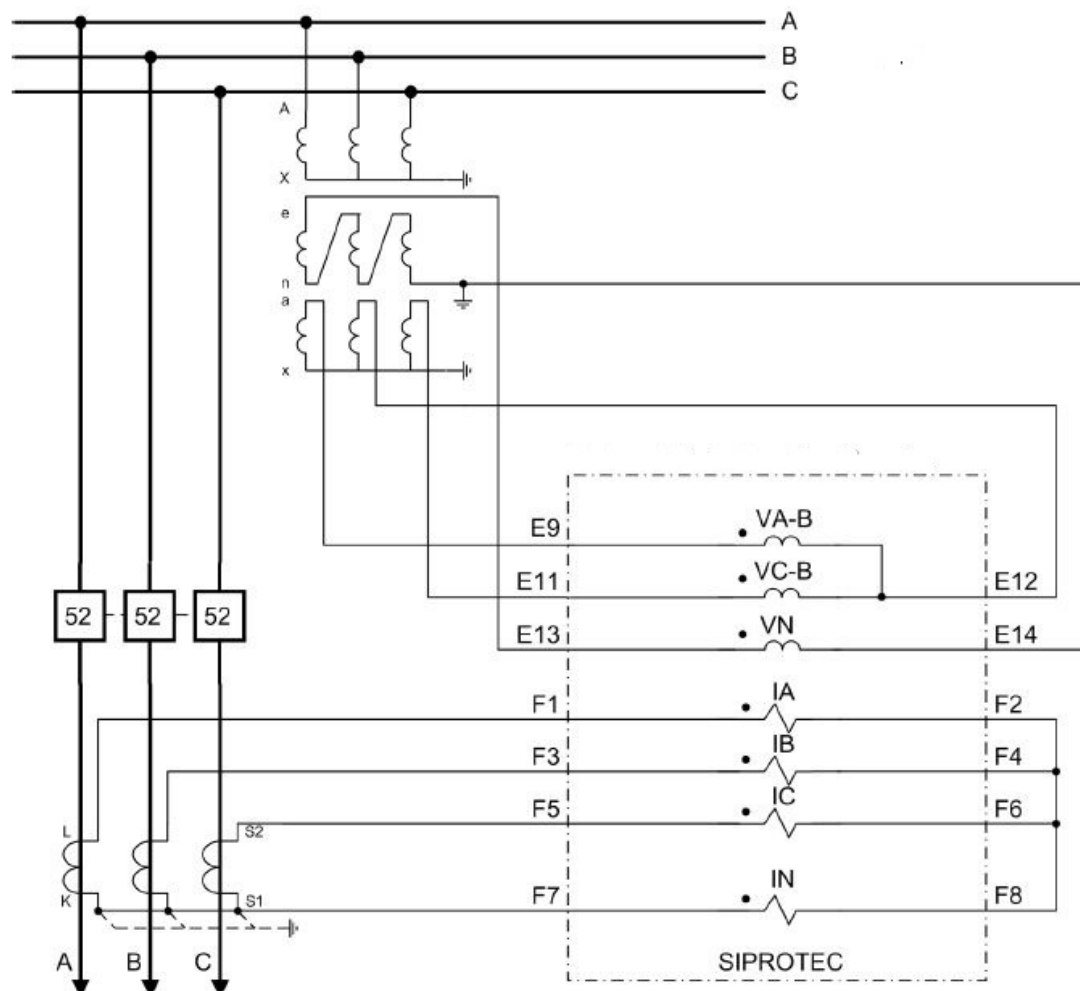
Keďže táto sieť je prevádzkovaná ako izolovaná, medzi najčastejšie poruchy patria zemné spojenia, ktoré sú spôsobené spojením jednej fáze so zemou. Vstupná rozvodňa je vybavená ochranou, ktorá dokáže signalizovať tento poruchový stav, avšak určenie miesta poruchy nie je možné.

S lokalizáciou zemného spojenia sú veľké problémy, pretože sa aj napriek pokročilým technológiám nedá určiť konkrétne miesto z nameraných hodnôt napätia a prúdu. Preto sa pri tejto poruche robí vizuálna obhliadka, pri ktorej sa hľadá miesto poruchy. Smerová zemná ochrana dokáže z netočivej zložky nameraného napätia a prúdu vymedziť, na ktorej strane sa zemné spojenie nachádza. Je teda vhodné nainštalovať takúto ochranu na odchádzajúce vedenie v HC Jasenie, aby sa zistilo či porucha nastala na vedení alebo vo vnútri objektu. Takúto funkciu obsahuje multifunkčná ochrana SIPROTEC Compact 7SJ80 od firmy Siemens. Táto ochrana by mala plniť signalizačnú funkciu bez vypínania pri spojení jednej fáze so zemou. V prípade potreby by mohla nahradiť nadprúdovú ochranu SPAJ 140 C/P od firmy ABB pridaním nadprúdovej ochrannej funkcie.



Obrázok 6-1: Digitálna ochrana SIPROTEC Compact 7SJ80 [31]

Aby táto ochrana mohla správne fungovať, potrebuje pre svoju činnosť byť správne nastavená. Nastavenie ochrany sa realizuje pomocou ovládacieho softvéru DIGSI 4, najskôr je však potrebné zaistiť správne prijímanie vstupných veličín, ktoré zabezpečujú prístrojové transformátory prúdu a napätia. Podľa jednotlivých funkcií ochrany treba zvoliť správne zapojenie a nadimenzovanie týchto prístrojov. Podľa manuálu ochrany dostupného z [51] je potrebné pre smerovú detekciu zemného prúdu použiť nasledovné zapojenie:



Obrázok 6-2: Zapojenie ochrany a meracích transformátor pre citlivú smerovú detekciu zemných porúch

Meranie napätia prebieha na sekundárnej strane cez otvorený trojuholník Meranie prúdu prebieha pomocou troch násuvných transformátorov prúdu cez tzv. Holmgreenovo zapojenie. Zapojenie so súčtovým transformátorom sa neuvažuje z dôvodu absencie káblových častí v rozvodni 22 kV v HC Jasenie. Menovité vstupné parametre, podľa ktorých je potrebné nadimenzovať meracie transformátory sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:

Tabuľka 6-1: Menovité parametre vstupných analógových hodnôt ochrany [31]

I_s (A)	I_N (A)	U_s (V)
1 alebo 5	$\leq 1,6 \cdot I_s$	34 až 225

Pre správne nadimenzovanie meracích transformátorov prúdu je potrebné zistiť veľkosť prúdu na hladine 22 kV. Keďže maximálny možný prenášaný výkon je obmedzený transformátorom pre vyvedenie výkonu, prevádzkový prúd môže potom dosiahnuť hodnotu maximálne:

$$I_{max} = \frac{S_{nt}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{3000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3} = 78,73 \text{ A}, \quad (6.1)$$

kde S_{nt} je menovitý výkon transformátoru T3 (VA) a U_n je napätie siete (V).

Keďže tieto transformátory budú slúžiť pre zemnú ochranu, ako aj s možnosťou využitia pre nadprúdovú ochranu, je potrebné zvoliť kompromis medzi citlivosťou, presnosťou, nadprúdovým číslom a v konečnom dôsledku aj ekonomickou hospodárnosťou. Najväčšiu váhu na výber prístrojového transformátoru prúdu má zvolená metóda pri vyhodnocovaní smeru zemného spojenia. Tým, že rozľahlosť siete 22 kV nie je veľká, hodnota prúdu pri zemnom spojení nedosahuje dostatočnú veľkosť pre jeho jednoznačnú detekciu, pretože do nameraných hodnôt vstupujú rôzne rušivé vplyvy, ako aj nesymetria sústavy, prúdu, napätia a jednotlivých prístrojových transformátorov. Preto hodnoty namerané pri bezporuchovom stave môžu zavádzať ochranu a spôsobiť nesprávnu funkciu.

Ochrana SIPROTEC 7SJ80 dokáže vyhodnotiť smer zemného spojenia pomocou metódy $\cos \varphi / \sin \varphi$, kde je najdôležitejšie správne určenie uhlu meraného napätia a prúdu. Z toho vyplýva vhodnosť použitia meracieho transformátoru prúdu so základným nadprúdovým číslom. Nevýhodou tohto transformátoru bude vyhodnocovanie skratových prúdov, avšak výskyt skratov v tejto prevádzke je len veľmi ojedinelý. Prístrojové násuvné transformátory CTT 25 od firmy KPB Intra sú vhodné na túto funkciu, pretože spĺňajú všetky uvedené podmienky. Technické parametre tohto meracieho transformátoru sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:

Tabuľka 6-2: Technické parametre meracieho transformátoru prúdu CTT 25 [32]

I_p (A)	I_s (A)	Trieda presnosti (-)	Menovitá záťaž (VA)	Nadprúdové číslo
100	1	3	5 až 60	5

Požiadavky pre meracie transformátory napätia sú jednoduchšie, dôležitá je trieda presnosti a dodržanie menovitej záťaže. Týmto podmienkam vyhovujú transformátory VTS 25P od rovnakého dodávateľa a ich technické parametre sú:

Tabuľka 6-3: Technické parametre meracieho transformátoru napätia VTS 25P [33]

U_p (kV)	U_s (V)	Trieda presnosti (-)	Menovitá záťaž (VA)	BIL (kV)
22/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	3	10 až 150	125

Výber triedy presnosti je vzhľadom na hospodárnosť, pretože pri nesymetrii sústavy, je zbytočné používať niekoľkonásobne drahšie prístrojové transformátory, ktoré by s vysokou presnosťou merali hodnoty zavádzajúce pre ochranu. Podľa zvoleného zapojenia a prevodu prístrojových transformátorov prúdu je potrebné nastaviť vybrané parametre ochrany pomocou softvéru DIGSI 4.

6.1.1 Nastavenie parametrov ochrany pre smerovú detekciu zemného spojenia

Ochrana SIPROTEC 7SJ80 má v základnom nastavení definované základné hodnoty parametrov. Pre nastavenie ochrany na požadovanú funkciu je potrebné niektoré parametre predefinovať. Aby mohla ochrana smerovo vyhodnotiť zemné spojenie, je potrebné aby boli nasledovné parametre predefinované podľa [51]:

Address 130 **S.Gnd.F.Dir.Ch** – $\cos \varphi / \sin \varphi$ – nastavuje metóda určenia smeru zemného spojenia

Address 202 **Vnom PRIMARY** – nastavuje združenú hodnotu transformátorov napätia na primárnej strane – 22 kV.

Address 203 **Vnom SECONDARY** – nastavuje združenú hodnotu transformátorov napätia na sekundárnej strane – 100 V.

Address 204 **CT PRIMARY** – nastavuje hodnotu prúdu na primárnej strane prúdového transformátoru, čo je v tomto prípade 100 A.

Address 205 **CT SECONDARY** – nastavuje hodnotu prúdu na sekundárnej strane prúdového transformátoru, čo je v tomto prípade 1 A.

Address 206 **Vph / Vdelta** – určuje prevod pri výpočte fázového napätia, pre prípad zapojenia otvoreného trojuholníku sa nastaví na hodnotu 1,73.

Address 217 **Ignd-CT PRIM** – musí byť zhodné s adresou 204 **CT PRIMARY**

Address 218 **Ignd-CT SEC** – musí byť zhodné s adresou 205 **CT SECONDARY**

Address 3101 – nastaviť na hodnotu **Alarm Only**. Táto funkcia zabezpečí signalizáciu zemného spojenia bez toho, aby ochrana vybavila a dala pokyn vypínaču.

Parameter 213 **VT Connent. 3ph** – nastaviť V_{ab} , V_{bc} , V_{Gnd} – udáva pripojenie prístrojových transformátorov napätia, z ktorých sa počíta U_0 podľa:

$$3 \cdot \bar{U}_0 = \bar{U}_A + \bar{U}_B + \bar{U}_C \quad (6.2)$$

Parameter 251 **CT Connect** – nastaviť **A**, **B**, **C**, **Gnd** – zapojenie jednotlivých transformátorov prúdu

Parameter 280 **Holmgr. for Σi** – nastaviť **YES** – pre Holmgreenovo zapojenie prístrojových transformátorov prúdu, kde nulový bod je privedený na prúdový vstup I_4 .

Parameter 613 **50N/51N/67N w** - určuje či sa pre detekciu zemného spojenia počíta (**3I0 (calcul.)**) nulová zložka prúdu alebo sa meria (**Ignd (measured)**) z štvrtého prúdového vstupu. Pre citlivé meranie zemných porúch sa vždy počíta nulová zložka prúdu a tento parameter nie je k dispozícií.

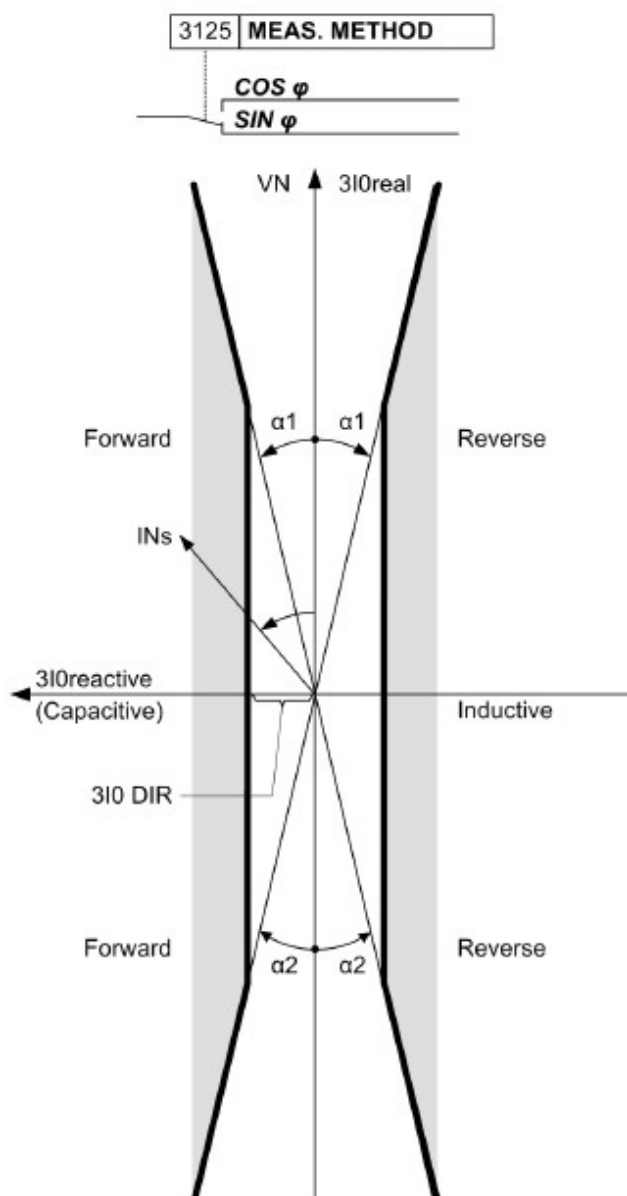
Čas, za ktorý ochrana vyhodnotí či sa jedná o zemné spojenie sa nastavuje definuje v parametre **T-Delay PICKUP**, primárne je nastavený na 1 sekundu. Ak ochrana nameria hodnotu nulového napätia, ktorá prekročí bežnú hodnotu, porovná napätia jednotlivých fáz voči zemi s nastavenými hodnotami. Napätie fáze, na ktorej vzniklo zemné spojenie by sa malo blížiť k nule a teda je omnoho nižšie ako nastavená minimálna fázová hodnota **VPH MIN**. Napätie na ostatných fázach dosiahne združenú hodnotu a prekročí nastavenú hodnotu **VPH MAX**. Fázory napätia sú zobrazené na obrázku 8-2. Takto sa vyhodnotí postihnutá fáza.

Vyhodnotenie smeru zemného spojenia sa vyhodnocuje pomocou prúdu $3 \cdot I_0$ a napätia $3 \cdot U_0$. Z týchto hodnôt sa počíta činná a jalová zložka výkonu. Výpočtový algoritmus používa filtre, ktoré sú veľmi presné a necitlivé na vyššie harmonické obsiahnuté v nulovej zložke prúdu.

Pre určenie smeru v izolovaných sieťach nie je podľa [31] dôležitá veľkosť prúdu, ale veľkosť imaginárnej zložky. Z toho vyplýva určenie metódy podľa $\sin \varphi$, potom platí nasledujúce:

- Zemné spojenie je v priamom smere ak $Q_0 < 0$ a $I_{Eb} >$ nastavená hodnota **RELEASE DIRECT**,
- Zemné spojenie je v opačnom smere ak $Q_0 > 0$ a $I_{Eb} >$ nastavená hodnota **RELEASE DIRECT**

Príklad smerovej charakteristiky merania pomocou $\sin \varphi$ je zobrazený na nasledujúcom obrázku:



Obrázok 6-3: Smerová charakteristika pre metódu $\sin \varphi$ [51]

Vymedzenie signalizačnej oblasti v smerovej charakteristike je dané nastavenou veľkosťou prúdu pri zemnom spojení ako aj jeho jalovým charakterom. Podľa [51] je doporučené ponechať nastavenie uhlov α_1 a α_2 na pôvodnej hodnote. Nastavenie hodnoty v parametri **RELEASE DIRECT** závisí na veľkosti poruchového prúdu pri zemnom spojení, ktorého výpočet je uvedený v nasledujúcej kapitole.

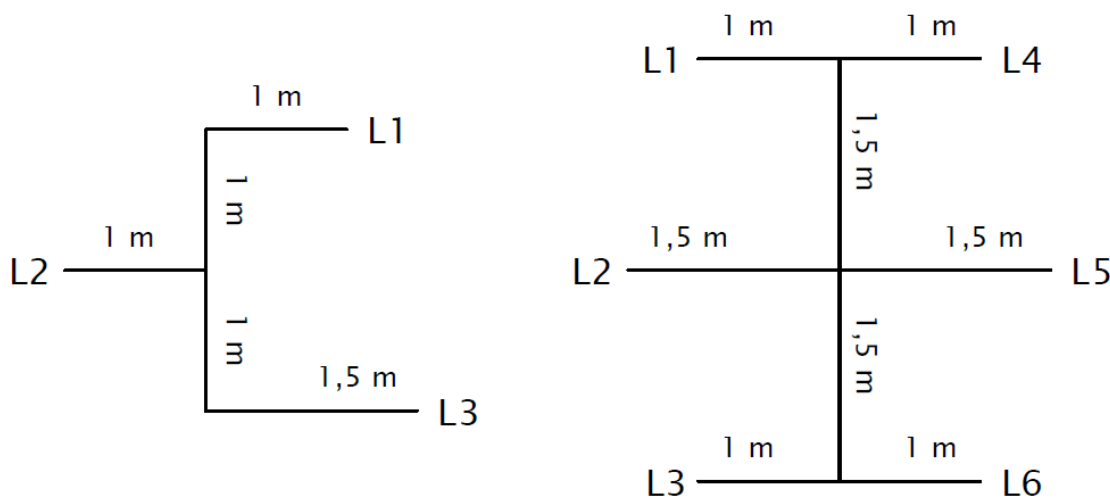
6.1.2 Výpočet poruchového prúdu pri zemnom spojení

Pre správny návrh ochrany je potrebné určiť prúd pri zemnom spojení, ktorý musí ochrana správne detekovať. Poruchový prúd pri zemnom spojení je daný dĺžkou celej prepojenej siete 22 kV, v tomto prípade je tvorený vzdušným vedením z HC Jasenie a Dubová do Starého závodu vrátane pripojených odbočiek, a káblovým vedením v objekte Starého závodu a železiarní. Veľkosť poruchového prúdu sa podľa [18] vypočíta:

$$I_C = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot \omega \cdot C, \quad (6.3)$$

kde U_n je napätie siete (V), ω je uhlová frekvencia (rad/s) a C je celková kapacita sústavy.

K tomuto výpočtu je potrebná znalosť prevádzkovej kapacity jednotlivých častí vedení, ktorá vychádza z usporiadania a vzdialeností vodičov. Vzdušné vedenie je z časti vedené ako jednoduché a z časti ako dvojité, rozmery a typy hláv sú uvedené na nasledujúcom obrázku.



Obrázok 6-4: Rozmery hláv stožiarov a typy usporiadania fázových vodičov

Podľa [34] sa prevádzková kapacita pre jednoduché vedenie vypočíta nasledovným spôsobom:

Pre výpočet prevádzkovej kapacity je potrebné poznať strednú vzdialenosť vodičov, ktorá sa vypočíta ako:

$$d = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{13}} \text{ (m)}, \quad (6.4)$$

kde d_{12} , d_{23} , d_{13} sú osové vzdialenosti vodičov (m). Ďalej je treba poznať strednú vzdialenosť medzi vodičmi rovnakých fáz:

$$d_N = \sqrt[3]{d_{14} \cdot d_{25} \cdot d_{36}} \text{ (m)}, \quad (6.5)$$

kde d_{14} , d_{25} , d_{16} sú osové vzdialenosti vodičov rovnakých fáz (m). Stredná vzdialenosť vodiča jedného vedenia a vodičov druhého vedenia sa vypočíta ako:

$$d_N' = \sqrt[3]{d_{15} \cdot d_{16} \cdot d_{26}} \text{ (m)}, \quad (6.6)$$

kde d_{15} , d_{16} , d_{26} sú osové vzdialenosti vodičov medzi oboch vedení (m). Ďalej je potrebné poznať strednú výšku fázových vodičov, ktorá sa vypočíta ako:

$$h = \sqrt[3]{h_1 \cdot h_2 \cdot h_3} \text{ (m)}, \quad (6.7)$$

kde h_1 , h_2 , h_3 sú vzdialenosti fázových vodičov od zeme (m).

6.1.2.1 Prevádzková kapacita jednoduchého vedenia

Osové vzdialenosti vodičov sú počítané podľa obrázku 6-5 a vzdialenosti fázových vodičov od zeme sú dané z výšky stožiarov 12 m. Prevádzková kapacita jedného km jednoduchého vedenia sa potom vypočíta nasledovne:

Stredná vzdialenosť d je podľa rovnice (6.4):

$$d = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{13}} = \sqrt[3]{2,236 \cdot 2,062 \cdot 2,693} = 2,316 \text{ m}$$

Keďže na toto vedenie nepôsobí vplyv iného vedenia, výpočet sa zjednoduší a stredná výška sa vypočíta ako:

$$h = \sqrt[3]{h_1 \cdot h_2 \cdot h_3} = \sqrt[3]{12,5 \cdot 11,5 \cdot 10,5} = 11,47 \text{ m}$$

Vlastný potenciálový koeficient sa vypočíta ako:

$$\alpha = \frac{\log \frac{2 \cdot h}{r}}{0,0242} = \frac{\log \frac{2 \cdot 11,47}{5,85 \cdot 10^{-3}}}{0,0242} = 148,5 \text{ km/F}, \quad (6.8)$$

kde r je polomer lana (m). Vzájomný potenciálový koeficient sa vypočíta ako:

$$\alpha' = \frac{\log \frac{\sqrt{4 \cdot h^2 + d^2}}{d}}{0,0242} = \frac{\log \frac{\sqrt{4 \cdot 11,47^2 + 2,316^2}}{2,316}}{0,0242} = 41,24 \text{ km/F} \quad (6.9)$$

Prevádzková kapacita na jeden km jednoduchého vedenia sa potom vypočíta ako:

$$C_{pka} = \frac{1}{\alpha - \alpha'} \cdot 10^{-6} = \frac{1}{148,5 - 41,24} \cdot 10^{-6} = 9,232 \text{ nF/km} \quad (6.10)$$

6.1.2.2 Prevádzková kapacita dvojitého vedenia

Rovnako ako pre jednoduché vedenie je potrebné spočítať nasledovné hodnoty. Osové vzdialenosti vodičov sú počítané podľa obrázku 6-5 a vzdialenosti fázových vodičov od zeme sú dané z výšky stožiarov 20 m. Stredná vzdialenosť vodičov sa vypočíta ako:

$$d = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{13}} = \sqrt[3]{1,803 \cdot 1,803 \cdot 3} = 2,137 \text{ m}$$

Stredná vzdialenosť medzi vodičmi jednotlivých fáz sa vypočíta ako:

$$d_N = \sqrt[3]{d_{14} \cdot d_{25} \cdot d_{36}} = \sqrt[3]{2 \cdot 3 \cdot 2} = 2,289 \text{ m}$$

Stredná vzdialenosť vodiča jedného vedenia a vodičov druhého vedenia sa vypočíta ako:

$$d_N' = \sqrt[3]{d_{15} \cdot d_{16} \cdot d_{26}} = \sqrt[3]{2,915 \cdot 3,905 \cdot 2,915} = 3,213 \text{ m}$$

Stredná výška fázových vodičov sa vypočíta ako:

$$h = \sqrt[3]{h_1 \cdot h_2 \cdot h_3} = \sqrt[3]{23 \cdot 21,5 \cdot 20} = 21,47 \text{ m}$$

Vlastný potenciálový koeficient sa vypočíta ako:

$$\alpha = \frac{\log \frac{2 \cdot h}{r}}{0,0242} = \frac{\log \frac{2 \cdot 21,47}{5,85 \cdot 10^{-3}}}{0,0242} = 159,7 \text{ km/F}$$

Vzájomný potenciálový koeficient sa vypočíta ako:

$$\alpha' = \frac{\log \frac{\sqrt{4 \cdot h^2 + d^2}}{d}}{0,0242} = \frac{\log \frac{\sqrt{4 \cdot 21,47^2 + 2,137^2}}{2,137}}{0,0242} = 53,87 \text{ km/F}$$

Potenciálový koeficient rešpektujúci pôsobenie vodičov rovnakých fáz sa vypočíta ako:

$$\alpha_N = \frac{\log \frac{\sqrt{4 \cdot h^2 + d_N^2}}{d_N}}{0,0242} = \frac{\log \frac{\sqrt{4 \cdot 21,47^2 + 2,289^2}}{2,289}}{0,0242} = 52,64 \text{ km/F}$$

Potenciálový koeficient rešpektujúci pôsobenie vodičov druhého vedenia sa vypočíta ako:

$$\alpha'_N = \frac{\log \frac{\sqrt{4 \cdot h^2 + d_N'^2}}{d'_N}}{0,0242} = \frac{\log \frac{\sqrt{4 \cdot 21,47^2 + 3,213^2}}{3,213}}{0,0242} = 46,58 \text{ km/F}$$

Prevádzková kapacita dvojitého vedenia sa potom vypočíta ako:

$$C_{pkb} = \frac{1}{(\alpha + \alpha_N) - (\alpha' + \alpha'_N)} \cdot 10^{-6} = \frac{1}{(159,7 + 52,64) - (53,87 + 46,58)} \cdot 10^{-6} = 8,937 \text{ nF/km}$$

Celková dĺžka jednoduchého vzdušného vedenia l_a je podľa [52] približne 13 km. Dĺžka dvojitého vedenia l_b je približne 3,9 km. Celková dĺžka káblového vedenia je približne 1 km. Kapacita tohto káblového vedenia je podľa dostupných údajov približne 230 nF/km.

Veľkosť poruchového prúdu pri zemnom spojení sa potom podľa rovnice (6.3) vypočíta ako:

$$I_c = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot \omega \cdot (C_{pka} \cdot l_a + C_{pkb} \cdot l_b + C_{pkc} \cdot l_c) = \sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot (9,232 \cdot 10^{-9} \cdot 14 + 8,937 \cdot 10^{-9} \cdot 3,9 + 230 \cdot 10^{-9} \cdot 1) = 4,72 \text{ A},$$

kde C_{pkc} je kapacita káblového vedenia (nF/km) a l_c je dĺžka káblového vedenia. Veľkosť tohto poruchového prúdu je smerodajná pre nastavenie parametru **RELEASE DIRECT**. Podľa prevodu prístrojového transformátoru prúdu uvedeného v tabuľke 6-2 by sa mal tento parameter nastaviť na hodnotu:

$$I_{cs} = \frac{I_c}{p} = \frac{4,72}{100} = 47,2 \text{ mA}, \quad (6.11)$$

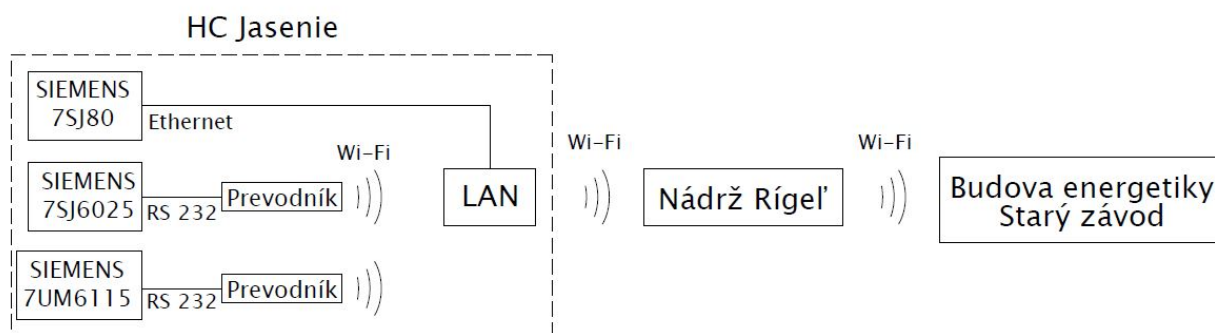
kde p je prevod prístrojového transformátoru prúdu. Keďže sú vo výpočte určité nepresnosti, nastavenie tohto parametru je potrebné doladiť za prevádzky z nameraných hodnôt.

6.2 Prenos dát z ochrán v HC Jasenie do budovy energetiky v Starom závode

Cieľom tejto kapitoly je navrhnúť spôsob, akým by bolo možné preniesť informácie z jednotlivých digitálnych ochrán v HC Jasenie do budovy energetiky v Starom závode. Konkrétne sa jedná o nasledovné ochrany:

- 7SJ80 – odchádzajúce vedenie (smerová zemná ochrana)
- 7SJ6025 – generátor G1 (nadprúdová ochrana)
- 7UM6015 – generátor G2 (nadprúdová ochrana)

Ochrany generátorov 7SJ6025 a 7UM6015 neobsahujú moduly pre komunikáciu, ale iba základné sériové rozhranie na princípe RS232. Tieto komunikačné protokoly sú sériové, a preto je potrebné každú ochranu vybaviť prevodníkom zo sériového rozhrania na WiFi. K ochrane 7SJ80 je vhodné objednať komunikačný modul pre protokol IEC 61850, ktorý zaručí jednoduchý prístup ku komunikácii zo vzdialeného miesta. Topológia prenosu je zobrazená na nasledujúcom obrázku.

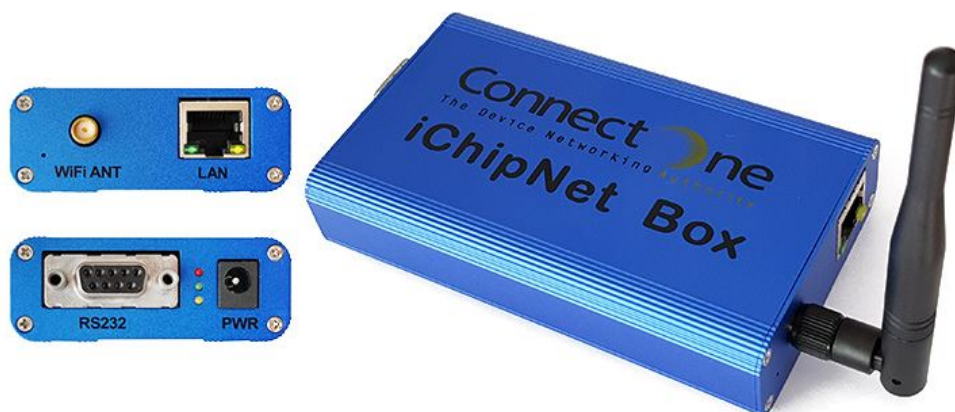


Obrázok 6-5: Princíp prenosu dát

Princíp prenosu je nasledovný: Namerané dáta alebo zaznamenané udalosti, ktoré ochrany vyhodnotia sa prenesú cez systémové sériové rozhranie do prevodníku, ktorý tento signál odošle cez Wi-Fi do routru v HC Jasenie, v prípade ochrany SIPROTEC 7SJ80 môže byť router priamo spojený káblom s ochranou ak je vzdialenosť týchto zariadení menšia ako 20 m [31]. Tento router je momentálne využívaný na prenos dát z wattmetrov. Ďalej sa dáta prenesú pomocou Wi-Fi na nádrž Rígel', odkiaľ putujú rovnakým spôsobom až do budovy energetiky v Starom závode, kde môžu byť zobrazené a vyhodnotené pomocou softwaru príslušnej ochrany (SIGRA 4, DIGSI 4).

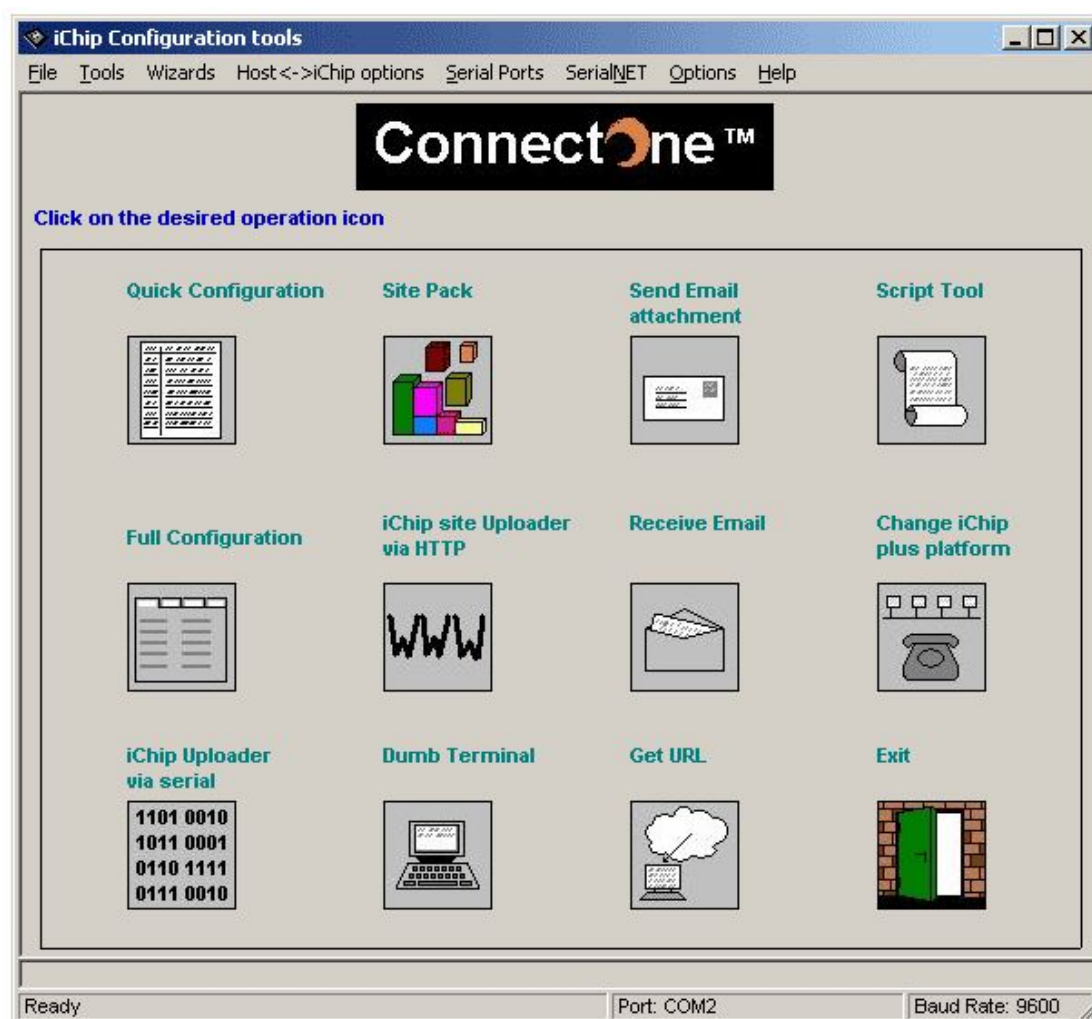
Pri takomto spôsobe prenosu dát vzniká mimoriadne dôležitá požiadavka na zabezpečenie siete, aby nebolo možné cudzím zásahom z vonku manipulovať s nastaveniami ochrán. Popríklad je vhodné zabezpečiť tok dát, len z jednej strany, a to práve iba z HC Jasenie.

Komunikácia ochrany SIPROTEC 7SJ80 nevyžaduje vďaka dostupnému ethernet modulu ďalšie pripomienky. Naopak pre zvyšné ochrany treba navrhnúť konkrétny postup. Prevodník, ktorý vyhovuje týmto požiadavkám je iChipNet Box RS232-WiFi, dostupný z [36]. Aby bolo možné vytvoriť komunikáciu medzi týmito zariadeniami, je potrebné vytvorenie web serverov v týchto zariadeniach a nasledovné nastavenie pre prenos sériovej linky.



Obrázok 6-6: Prevodník iChipNET Box [36]

Pre nastavenie sériového prenosu sa používa konfiguračný software iChipConfining dostupný z [37]. Prvotné nastavenie je vždy nutné vykonať cez sériovú linku. Ďalšie konfigurácie sú pri povolení integrovaného webserveru možné aj cez internetový prehliadač. Pred samotným nastavením je vhodné skontrolovať aj verziu firmware a prípadne nahráť do modulu aktuálnu verziu.



Obrázok 6-7: Hlavné okno programu iChipConfig [38]

Postup nastavenia zariadení pre sériový prenos je podľa [38] nasledovný:

1. Spustiť program **iChipConfig** a kliknúť na **Full Configuration** (Pred nastavením je vhodné vrátiť všetky parametre na pôvodné hodnoty z výroby pomocou príkazu AT+iFD poslaním z **Dumb Terminalu** spustením z hlavného okna programu)
2. Záložka **Operational**:
 - **Host Interface (HIF)**: 1-UART 0
 - nepovinné – **Activate Web Server (AWS)**: Enabled Backlog 1 až 3 (číslo definuje počet súčasne pripojených internetových prehliadačov)

Rýchlosti UART:

Nízke rýchlosti do 230,4 bit/s je možné nastaviť v parametre SNSI – podľa bodu 5., záložka SerialNET.

Vysoké rýchlosti do 3 Mbps sa nastavujú cez parameter **BDRD** s tým, že rýchlosť v parametre SNSI musí byť nastavená na nule (AT+iSNSI=0).

Príklad nastavenia rýchlosti (maximálna hodnota parametru BDRD je 255.):

3 Mbps: AT+iBDRD=1

1,5 Mbps: AT+iBDRD=2

1 Mbps: AT+iBDRD=3

3. Záložka **LAN**:

v režime DHCP klient :

- zaškrtnúť políčko **Use DHCP**

s pevnou IP adresou :

- **Default IP address (DIP)**: zadať požadovanú IP adresu

- **Sub Net address (SNET)**: zadať masku podsiete

- **Gateway IP address**: zadať IP adresu gateway

4. Záložka **Wireless LAN**:

nastavenie pre konfiguráciu Infrastructure (spojenie s Access Point):

bez šifrovania, WPA alebo WPA2:

- **SSID (WLSI)**: zadať SSID siete

- **Security Type (WSEC)**: použité šifrovanie (WPA alebo WPA2), ak nie je použité, zvolí sa „WPA“

- **Security Type 0 (WST0)**: vybrať použité šifrovanie, ak nie je použité, zvolí sa „No Security“

- **WPA-PSK Pass phrase (WLPP)**: vložiť heslo (8 až 63 znakov ASCII)

so šifrovaním WEP64 alebo WEP128:

- **SSID (WLSI)**: zadať SSID siete

- **WEP Mode (WLWM)**: vybrať 64 alebo 128 bit

- **Key Index (WLKI)**: 1 až 4

- **Key 1 (WLK1) – Key 4 (WLK4)**: zadať použité hexadecimálne práry

nastavenie pre konfiguráciu Ad-Hoc:

- **WLAN Channel (WLCH)**: zadať číslo kanálu (1 až 13), na ktorom sa komunikuje

- **SSID (WLSI)**: zadať „!“ , (ak sa používa Ad-Hoc sieť SSID, zadá sa „!xxxx“, kde „xxxx“ je SSID)

V Ad-Hoc režime je možné použiť iba šifrovanie WEP64/WEP128, prípadne vôbec.

5. Záložka **Serial NET**:

- **Socket type (STYP)**: požadovaný typ socketu TCP, UDP

- **Server serialNET port (LPRT)**: číslo TCP alebo UDP portu

- **IP address to connect to (HSRV)**: v prípade, že WiFi modul bude klientom, ktorý aktívne zahájí spojenie sa nastaví IP adresa a port Serveru

- **Max timeout to flush (MTTF)**: 100

- **Port settings for serialNET (SNSI)**: parametre sériovej linky v tvare napr.: 5,8,N,1,0

Význam jednotlivých znakov je uvedený v nasledujúcej tabuľke:

Tabuľka 6-4: Význam jednotlivých parametrov sériovej linky [38]

Význam jednotlivých znakov				
<i>baudrate</i>	<i>data bity</i>	<i>parita</i>	<i>stop bity</i>	<i>riadenie dát</i>
1 = 600	7 = 7 bitov	N = bez parity	1	0 = bez riadenia
2 = 1200	8 = 8bitov	E = párný	1.5	1 = HW flow
3 = 2400		O = nepárna	2	
4 = 4800				
5 = 9600				
6 = 19200				
7 = 38400				
8 = 57600				
9 = 115200				
h = 230400				

6. Týmto je základné nastavenie hotové a je možné ho uložiť stlačením **Save**
7. Z horného iChipConfig menu sa vyberie príkaz **SerialNET > Enter SerialNET and Stay Online**. Použitím tohto príkazu je zaistené, že sa WiFi modul po zapnutí napájania bude nachádzať v režimu SerialNET.

Nastavenie komunikácie medzi ochranou a modulom je týmto ukončené a modul sa môže pripojiť k LAN sieti v HC Jasenie. Dôležité je dodržať správne zapojenie konektorov RS 232. Príklad nastavenie tejto komunikácie je uvedený v [39]. Po tomto nastavení je možné vizualizovať zaznamenané udalosti pomocou softvéru SIRGA 4.

7 NÁVRH ZÁLOŽNÉHO TRANSFORMÁTORU PRE VYVEDENIE VÝKONU

Spôľahlivosť hrá zásadnú rolu pri možných výpadkoch dodávky elektrickej energie, ktorá nepriaznivo vplyva na technický ako aj ekonomický chod systému. Medzi základné postupy ako zvýšiť spoľahlivosť celého systému je vytvorenie zálohy, čím sa do krátkej doby zaistí obnovenie správnej činnosti sústavy alebo jej zariadení. V tomto prípade sa jedná o zálohu hlavného transformátora pre vyvedenie výkonu.

V kapitole 4.3 je uvedený popis prevádzky, z ktorého vyplýva, že aktuálna záloha transformátoru T3 je nedostatočná, pretože súčet menovitých výkonov záložných transformátorov T2 a T4 je nižší ako výkon hlavného transformátora. Aby bola zaručená spoľahlivosť úplnej prevádzky, je potrebné do tejto skupiny pridať ďalší transformátor, ktorý musí vyhovovať podmienkam pre paralelnú spoluprácu.

7.1 Podmienky paralelnej spolupráce skupiny transformátorov

Aby mohla skupina transformátorov pracovať paralelne, je potrebné dodržať určité podmienky kvôli ich správnej činnosti. Podľa [19] transformátory pracujúce paralelne musia byť zhodné v týchto základných parametroch:

- napätie nakrátko
- prevod a približne rovnaký rozsah odbočiek
- hodinový uhol

Pri nedodržaní týchto podmienok vzniká nerovnomerné zaťaženie transformátorov a tým sa obmedzuje veľkosť prenášaného výkonu. Podľa [19] sa odporúča dodržať aj nasledovné zásady:

- pri paralelnom chode transformátorov s rozdielnym napätím nakrátko má skupina preniesť aspoň 95% súčtového výkonu
- nespojovať paralelne transformátory, ktorých výkon sa líši viac ako 1:2
- transformátor s menším výkonom má mať vyššie napätie nakrátko
- rozdiel v prevode spôsobený rozdielnym rozsahom odbočky by nemal prekročiť 0,5%

Pri rozdielnom napätí nakrátko vzniká nerovnomerné rozloženie prenášaného výkonu vplyvom rozdielnej impedancie jednotlivých transformátorov, pretože napätie nakrátko určuje reaktanciu transformátoru. Transformátor s nižším napätím nakrátko má nižšiu impedanciu a kvôli tomu ním tečie väčší prúd, prenáša sa väčší výkon a transformátor je preťažovaný.

Rozdiel v prevode a hodinovom uhle spôsobuje tok vyrovnávacieho prúdu medzi jednotlivými transformátormi, ktorý takisto znižuje veľkosť prenášaného výkonu a zaťažuje celú skupinu transformátorov.

Aby navrhnutý transformátor spĺňal všetky tieto podmienky musia jeho parametre odpovedať parametrom transformátorov z tabuľky 4-4, z čoho vyplýva, že navrhnutý transformátor musí mať nasledovné parametre:

Tabuľka 7-1: Parametre skupiny záložných transformátorov

S_n (kVA)	u_k (%)	p (-)	Zapojenie vinutia
≈ 1000	$\approx 6,1$	5,2/22	Yy0

Atypické napätie 5,2 kV na primárnej strane spôsobuje značné problémy pri výbere transformátoru, pretože už niekoľko desaťročí sa ako menovitá hodnota používa napätie 6 kV. Niektoré firmy však ponúkajú repasované transformátory, medzi ktorými sa nachádza jeden vyhovujúci. Jedná sa repasovaný transformátor vyrobený v roku 1985 firmou BEZ Bratislava s nasledujúcimi parametrami:

Tabuľka 7-2: Základné parametre záložného transformátoru T1[40]

S_n (kVA)	u_k (%)	p (-)	Zapojenie	I_p (A)	I_s (A)	Typ
800	5,41	5,2/22	Yy0	89	21	aTO 394/22

Tieto údaje boli poskytnuté na vyžiadanie z [40]. Podľa tejto tabuľky je vidieť, že parametre tohto transformátoru odpovedajú hlavným podmienkam pre paralelnú spoluprácu transformátorov, avšak nevyhovujú podmienke napätia nakrátko pre transformátor s nižším výkonom. Z toho vyplýva požiadavka na určenie, či táto skupina transformátorov dokáže preniesť dostatočné množstvo činného a jalového výkonu.

7.2 Výpočet maximálneho prenášaného výkonu

Vplyvom rozdielného napätia nakrátko, nebude celkový prenášaný výkon rovný súčtu výkonov jednotlivých transformátorov. Podľa [41] sa celkový možný prenášaný výkon pre trojicu paralelne pracujúcich transformátorov vypočíta ako:

$$S_{max} = u_k \left(\frac{S_{n1}}{u_{k1}} + \frac{S_{n2}}{u_{k2}} + \frac{S_{n4}}{u_{k4}} \right) = 5,41 \left(\frac{800}{5,41} + \frac{1000}{6,1} + \frac{1000}{6,1} \right) = 2574 \text{ kVA}, \quad (7.1)$$

kde u_k , u_{k1} , u_{k2} , u_{k4} sú napätia nakrátko jednotlivých transformátorov (-) a S_{n1} , S_{n2} , S_{n4} sú menovité výkony transformátorov (kVA). Maximálny prenášaný činný výkon v minulom roku dosiahol hodnotu 2378 kW, veľkosť maximálneho jalového výkonu nie je zaznamenaná.

Aby nebola táto skupina transformátorov preťažovaná, je potrebné vypočítať maximálnu hodnotu jalového výkonu pri maximálnom činnom výkone, ktorý je možný prenášať bez preťaženia tejto skupiny transformátorov. Veľkosť jalového výkonu sa vypočíta ako:

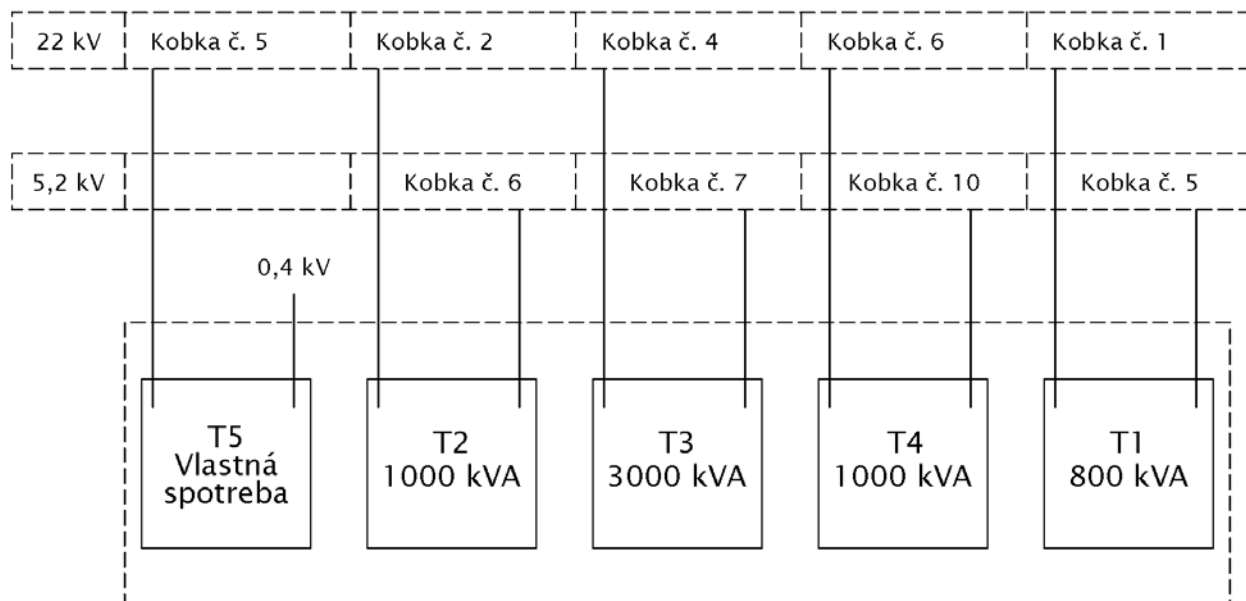
$$Q_{max} = \sqrt{S_{max}^2 - P_{max}^2} = \sqrt{2574^2 - 2378^2} = 985 \text{ kVA}, \quad (7.2)$$

kde P_{max} je maximálny činný výkon (kW). Podľa nameraných údajov v HC Jasenie je počas prevádzky účinník $\cos \varphi$ rovný takmer jednej. Veľkosť jalového výkonu sa prispôbuje požiadavke z výrobnjej sekcie. V tomto ohľade je rezerva zvolená dostatočne a pri paralelnej spolupráci týchto transformátorov nedôjde k obmedzeniu činnosti prevádzky z hľadiska celkového prenášaného výkonu.

7.3 Umiestnenie transformátora

V minulosti boli v zálohe hlavného transformátoru tri samostatné transformátory, každý o výkone 1000 kVA. Po závažnej poruche transformátoru T1 musel byť vyradený z prevádzky a odstránený z komory. Vybavenie v kobkách však ostalo a preto sa celý návrh zjednodušuje len na samotný transformátor.

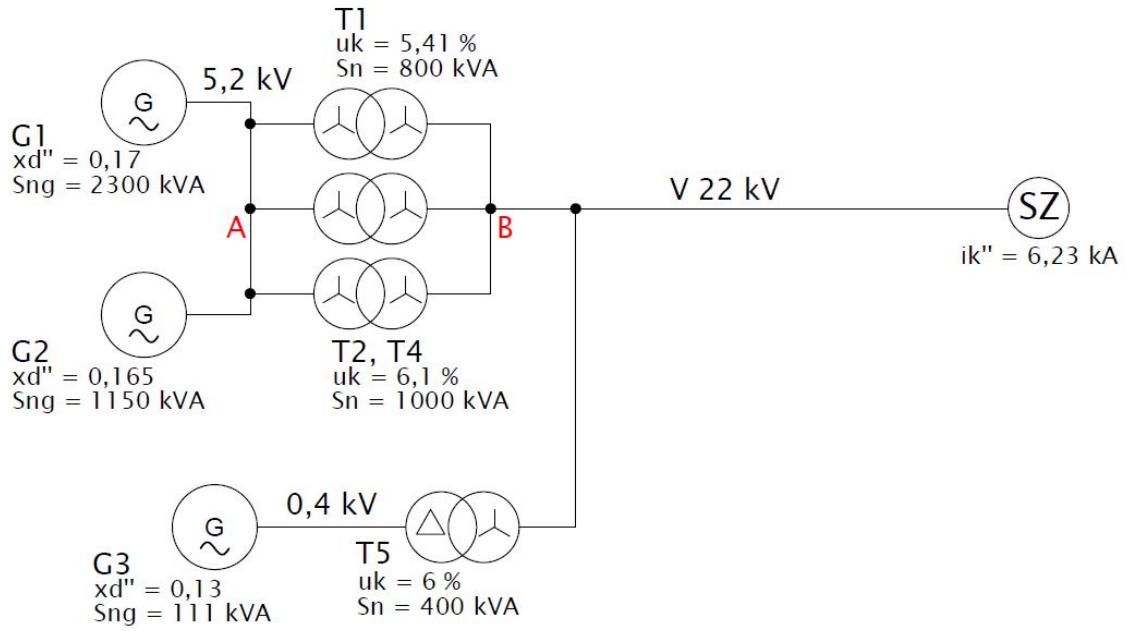
Nový transformátor sa bude nachádzať v komore č. 1, pričom vývody na strane vyššieho napätia budú vyvedené do kobky č. 1 v rozvodni 22 kV a vývody na stranu nižšieho napätia budú vyvedené do kobky č. 5 v rozvodni 5,2 kV.



Obrázok 7-1: Umiestnenie transformátora T1 v HC Jasenie

7.4 Kontrola skratovej odolnosti pri paralelnej spolupráci transformátorov T1, T2 a T4

Pri tejto konfigurácii siete sa zmení impedancia vyvedenia výkonu a teda aj veľkosť skratového prúdu. Ak by kontrola na tepelné a dynamické účinky skratového prúdu bola nepriaznivá, bolo by potrebné navrhnuť iné riešenie, ktoré by spočívalo v zmene navrhnutého transformátora alebo v zmene prípojnicového systému oboch rozvodní. Táto kontrola sa zameriava na poruchu stav pri trojfázovom skrate v rozvodniach na oboch napäťových hladinách. Schéma tohto poruchového stavu je zobrazená na nasledujúcom obrázku, pričom miesta uvažovaných skratov sú označené ako A a B.



Obrázok 7-2: Schéma siete pri kontrole skratovej odolnosti

7.4.1 Výpočet impedancií jednotlivých prvkov siete

Pri výpočte impedancií treba brať do úvahy dostupné údaje a zjednodušenie podľa [34], kde je reaktancia generátorov, transformátorov a sieťového napájača približne rovná impedancii. Tento predpoklad neplatí pre vedenia, kde rezistencia tvorí značnú časť impedancie. Impedancie prvkov sústavy sa podľa [34] vypočítajú:

Generátory:

$$\bar{Z}_{G1} = j \cdot x''_{dG1} \cdot \frac{U_{nG1}^2}{S_{nG1}} = 0,17 \cdot \frac{5200^2}{2,3 \cdot 10^6} = j \cdot 1,999 \, \Omega \quad (7.3)$$

$$\bar{Z}_{G2} = j \cdot x''_{dG2} \cdot \frac{U_{nG2}^2}{S_{nG2}} = 0,165 \cdot \frac{5200^2}{1,15 \cdot 10^6} = j \cdot 3,880 \, \Omega \quad (7.4)$$

$$\bar{Z}_{G3} = j \cdot x''_{dG3} \cdot \frac{U_{nG3}^2}{S_{nG3}} = 0,13 \cdot \frac{400^2}{111 \cdot 10^3} = j \cdot 0,1874 \, \Omega, \quad (7.5)$$

kde x''_{dG1} , x''_{dG2} , x''_{dG3} sú rázové reaktancie generátorov (-), ktoré neboli dostupné a sú zvolené po konzultácii s [43], U_{ng1} , U_{ng2} , U_{ng3} sú napätia generátorov (V) a S_{ng1} , S_{ng2} , S_{ng3} sú menovité výkony generátorov (VA)

Transformátory:

$$\bar{Z}_{T1} = j \cdot u_{kT1} \cdot \frac{U_{nT1}^2}{S_{nT1}} = 0,0541 \cdot \frac{5200^2}{800 \cdot 10^3} = j \cdot 1,829 \, \Omega \quad (7.6)$$

$$Z_{T2} = j \cdot u_{kT2} \cdot \frac{U_{nT2}^2}{S_{nT2}} = 0,061 \cdot \frac{5200^2}{1000 \cdot 10^3} = j \cdot 1,649 \, \Omega \quad (7.7)$$

$$\bar{Z}_{T4} = j \cdot u_{kT4} \cdot \frac{U_{nT4}^2}{S_{nT4}} = 0,061 \cdot \frac{5200^2}{1000 \cdot 10^3} = j \cdot 1,649 \, \Omega \quad (7.8)$$

$$\bar{Z}_{T5} = j \cdot u_{kT5} \cdot \frac{U_{nT5}^2}{S_{nT5}} = 0,06 \cdot \frac{22000^2}{400 \cdot 10^3} = j \cdot 71,80 \, \Omega, \quad (7.9)$$

kde u_{kT1} , u_{kT2} , u_{kT4} , u_{kT5} , sú napätia nakrátko jednotlivých transformátorov (-), U_{nT1} , U_{nT2} , U_{nT4} , U_{nT5} , sú menovité napätia transformátorov (V) a S_{n1} , S_{n2} , S_{n4} , S_{n5} sú menovité výkony transformátorov (VA).

Vedenie:

$$\bar{Z}_v = R_v + j \cdot X_v, \quad (7.10)$$

kde R_v je rezistencia vedenia (Ω) a X_v je reaktancia vedenia (Ω). Merná rezistencia vedenia sa vypočíta z prierezu lana podľa [44]:

$$R_k = \frac{\rho_{Al}}{S_{Al}} = \frac{30}{91,777} = 0,3269 \, \Omega/\text{km}, \quad (7.11)$$

kde ρ je rezistivita hliníku ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$) a S_{Al} je prierez hliníkovej časti AlFe lana (mm^2). Do úvahy treba brať aj mechanické a fyzikálne vplyvy, ktoré pôsobia na rezistenciu vedenia. Výsledný merná rezistencia vedenia sa podľa [44] vypočíta ako:

$$R_{kcelk} = R_k \cdot k_p \cdot k_s \cdot k_k \cdot k_t = 0,3269 \cdot 1,02 \cdot 1,015 \cdot 1,03 \cdot 1,2 = 0,4183 \, \Omega, \quad (7.12)$$

kde k_p je činiteľ priehty (-), k_s je činiteľ skinefektu (-), k_k je činiteľ krútenia (-) a k_t je činiteľ oteplenia (-).

Reaktancia vedenia závisí na usporiadaní vodičov a ich vzdialeností, vypočíta sa z prevádzkovej indukčnosti vedenia. Keďže sa na sa tejto trase nachádzajú dva typy stožiarov, je potrebné spočítať reaktanciu zvlášť pre každý typ usporiadania. Podľa [34] sa prevádzková indukčnosť pre prvú časť vedenia vypočíta ako:

$$L_{pka} = \frac{1}{3} \cdot (0,46 \cdot \log \frac{\sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{13} \cdot d_{23}}}{r} + 0,05 \cdot \mu_r) \, (\text{mH}/\text{km}) \quad (7.13)$$

$$L_{pka} = \frac{1}{3} \cdot (0,46 \cdot \log \frac{\sqrt[3]{2,236 \cdot 2,693 \cdot 2,061}}{5,85 \cdot 10^{-3}} + 0,05 \cdot 1) = 0,415 \, \text{mH}/\text{km},$$

kde d_{12} , d_{13} , d_{23} sú osové vzdialenosti fázových vodičov (m), vypočítané v kapitole 6.1.2, r je polomer celého lana (m) a μ_r je relatívna permeabilita.

Merná reaktancia tejto časti vedenia sa vypočíta ako:

$$X_{vka} = 2\pi \cdot f \cdot L_{pka} = 2\pi \cdot 50 \cdot 0,415 \cdot 10^{-3} = 0,130 \, \Omega/\text{km}, \quad (7.14)$$

kde f je frekvencia siete (Hz). Prevádzková indukčnosť pre druhú časť vedenia sa podľa [34] vypočíta ako:

$$L_{pkb} = \frac{1}{3} \cdot (L_{1kb} + L_{2kb} + L_{3kb}), \quad (7.15)$$

kde L_{1kb} , L_{2kb} a L_{3kb} sú merné prevádzkové indukčnosti jednotlivých fázových vodičov (mH/km). V ďalších výpočtoch treba brať do úvahy vplyv ďalších vodičov na stožiaroch a ich vzájomných osových vzdialeností uvedených v metroch. Jednotlivé osové vzdialenosti sú vypočítané z obrázku 6-5.

$$L_{1kb} = 0,46 \cdot \log \frac{\sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{13} \cdot d_{15} \cdot d_{16}}}{r \cdot d_{14}} + 0,05 \cdot \mu_r = \quad (7.16)$$

$$= 0,46 \cdot \log \frac{\sqrt[3]{1,803 \cdot 3 \cdot 2,915 \cdot 3,905}}{5,85 \cdot 10^{-3} \cdot 2} + 0,05 \cdot 1 = 1,213 \text{ mH/km}$$

$$L_{2kb} = 0,46 \cdot \log \frac{\sqrt[3]{d_{21} \cdot d_{23} \cdot d_{24} \cdot d_{26}}}{r \cdot d_{25}} + 0,05 \cdot \mu_r = \quad (7.17)$$

$$= 0,46 \cdot \log \frac{\sqrt[3]{1,803 \cdot 1,803 \cdot 2,915 \cdot 2,915}}{5,85 \cdot 10^{-3} \cdot 3} + 0,05 \cdot 1 = 1,079 \text{ mH/km}$$

$$L_{3kb} = 0,46 \cdot \log \frac{\sqrt[3]{d_{31} \cdot d_{32} \cdot d_{34} \cdot d_{35}}}{r \cdot d_{36}} + 0,05 \cdot \mu_r = \quad (7.18)$$

$$= 0,46 \cdot \log \frac{\sqrt[3]{3 \cdot 1,803 \cdot 3,905 \cdot 2,915}}{5,85 \cdot 10^{-3} \cdot 2} + 0,05 \cdot 1 = 1,213 \text{ mH/km}$$

$$L_{pkb} = \frac{1}{3} \cdot (L_{1b} + L_{2b} + L_{3b}) = \frac{1}{3} \cdot (1,213 + 1,079 + 1,213) = 1,168 \text{ mH/km} \quad (7.19)$$

Merná reaktancia tejto časti vedenia sa vypočíta ako:

$$X_{vkb} = 2\pi \cdot f \cdot L_{pkb} = 2\pi \cdot 50 \cdot 1,168 \cdot 10^{-3} = 0,370 \text{ } \Omega/\text{km} \quad (7.20)$$

Celková impedancia vedenia sa potom vypočíta ako:

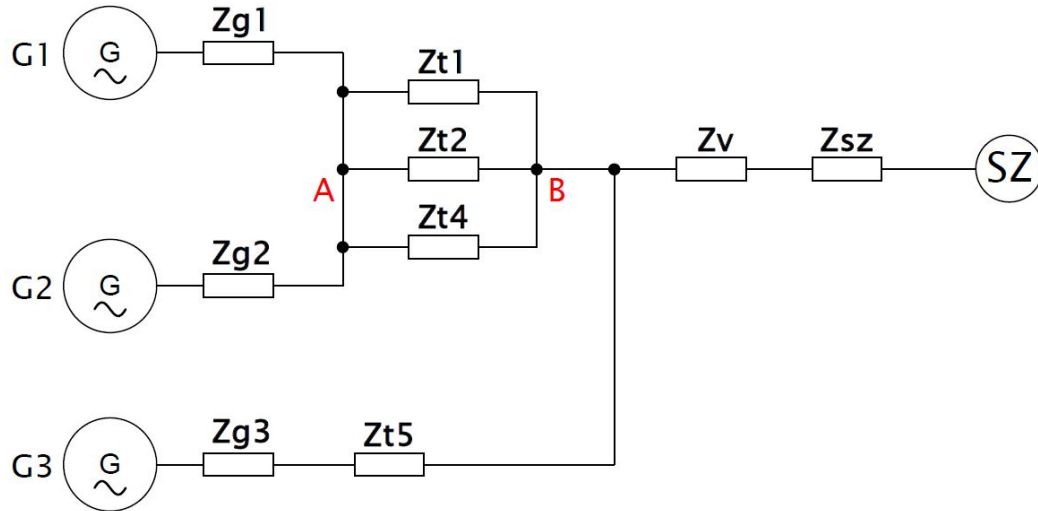
$$\begin{aligned} \bar{Z}_v &= R_k \cdot l + j \cdot (X_{va} \cdot l_a + X_{vb} \cdot l_b) = \\ &= 0,4183 \cdot 8,704 + j \cdot (0,130 \cdot 4,860 + 0,370 \cdot 3,844) = (3,640 + j \cdot 2,054) \text{ } \Omega, \end{aligned} \quad (7.21)$$

kde l je celková dĺžka vedenia (m) a l_a , l_b sú dĺžky jednotlivých častí vedení.

Sieťový napájač:

$$\bar{Z}_{SZ} = j \cdot \frac{c \cdot U_{nSZ}}{\sqrt{3} \cdot I''_{kSZ}} = \frac{1,1 \cdot 22 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6,23 \cdot 10^3} = j \cdot 2,243 \text{ } \Omega, \quad (7.22)$$

kde c je napäťový súčiniteľ podľa [42] (-), U_{nSZ} je napäťová hladina Starého závodu (V) a I''_{kSZ} je počiatočný rázový skratový prúd (A), určený zo skratového výkonu rozvodne Starého závodu. V tomto momente sú dané všetky potrebné informácie pre výpočet skratového prúdu.



Obrázok 7-3: Náhradná schéma siete

7.4.2 Výpočet skratového prúdu v mieste A

Miesto tohto skratu sa nachádza na prípojnícovom systéme v rozvodni 5,2 kV. Z toho vyplýva, že je potrebné prepočítať impedancie z hladiny 22 kV na toto vzťahné napätie.

$$\bar{Z}_{G3A} = \bar{Z}_{G3} \cdot \left(\frac{U_{vz}}{U_{nG3}} \right)^2 = j \cdot 0,1874 \cdot \left(\frac{5200}{400} \right)^2 = j \cdot 31,67 \, \Omega$$

$$\bar{Z}_{T5A} = \bar{Z}_{T5} \cdot \left(\frac{U_{vz}}{U_{nT5}} \right)^2 = j \cdot 71,80 \cdot \left(\frac{5200}{22 \cdot 10^3} \right)^2 = j \cdot 4,022 \, \Omega$$

$$\bar{Z}_{vA} = \bar{Z}_{v1} \cdot \left(\frac{U_{vz}}{U_{v2}} \right)^2 = (3,640 + j \cdot 2,054) \cdot \left(\frac{5200}{22 \cdot 10^3} \right)^2 = (0,2034 + j \cdot 0,1148) \, \Omega$$

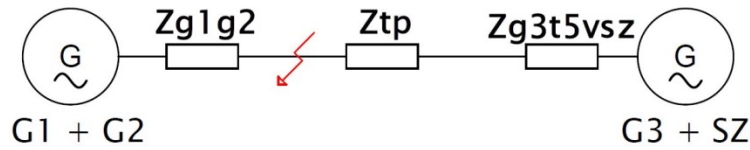
$$\bar{Z}_{SZ A} = \bar{Z}_{SZ} \cdot \left(\frac{U_{vz}}{U_{SZ}} \right)^2 = j \cdot 2,243 \cdot \left(\frac{5200}{22 \cdot 10^3} \right)^2 = j \cdot 0,1253 \, \Omega$$

Postupným zjednodušovaním schémy z obrázku 7-3 sú jednotlivé impedancie potom:

$$\bar{Z}_{G1G2} = \frac{1}{\frac{1}{\bar{Z}_{G1}} + \frac{1}{\bar{Z}_{G2}}} = \frac{1}{\frac{1}{j \cdot 1,999} + \frac{1}{j \cdot 3,880}} = j \cdot 1,319 \, \Omega$$

$$\bar{Z}_{Tp} = \frac{1}{\frac{1}{\bar{Z}_{T1}} + \frac{1}{\bar{Z}_{T2}} + \frac{1}{\bar{Z}_{T4}}} = \frac{1}{\frac{1}{j \cdot 1,829} + \frac{1}{j \cdot 1,649} + \frac{1}{j \cdot 1,649}} = j \cdot 0,5683 \, \Omega$$

$$\begin{aligned} \bar{Z}_{G3T5VSZ} &= \frac{1}{\frac{1}{\bar{Z}_{G3a} + \bar{Z}_{T5a}} + \frac{1}{\bar{Z}_{vA} + \bar{Z}_{SZa}}} = \\ &= \frac{1}{\frac{1}{j \cdot 31,67 + j \cdot 4,022} + \frac{1}{0,2034 + j \cdot 0,1148 + j \cdot 0,1253}} = (0,2019 + j \cdot 0,2396) \, \Omega \end{aligned}$$



Obrázok 7-4: Postupné zjednodušovanie náhradnej schémy A

Celková impedancia sa potom vypočíta ako:

$$\bar{Z}_{celka} = \frac{1}{\frac{1}{\bar{Z}_{G1G2}} + \frac{1}{\bar{Z}_{Tp} + \bar{Z}_{G3T5VSZ}}} = \frac{1}{j \cdot 1,319 + \frac{1}{j \cdot 0,5683 + 0,2019 + j \cdot 0,2396}} = (0,0765 + j \cdot 0,5083) \Omega$$

Veľkosť prúdu v miesta A pri trojfázovom skrate sa podľa [42] vypočíta ako:

$$I''_{ka} = \frac{c \cdot U_A}{\sqrt{3} \cdot Z_{celka}} = \frac{1,1 \cdot 5200}{\sqrt{3} \cdot 0,514} = 6,425 \text{ kA}, \quad (7.23)$$

kde U_A je napätie v mieste skratu (V) a Z_{celka} je celková impedancia (Ω).

7.4.3 Kontrola skratovej odolnosti na hladine 5,2 kV

Pri skratovej odolnosti sa kontroluje či prípojnicový systém spĺňa požiadavky vyplývajúce pre tepelné a dynamické účinkov skratového prúdu. Prípojnice v tejto časti rozvodne majú kruhový prierez s priemerom 18 mm a hrúbka steny je 2 mm. Podmienka pre tepelné účinky stanovuje minimálny prierez vodičov a vypočíta sa podľa [19] ako:

$$S_{min} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{T_k}}{\sqrt{\frac{c_0 \cdot (\vartheta_f + 20)}{\rho_{20}} \cdot \ln \frac{\vartheta_f + \vartheta_k}{\vartheta_f + \vartheta_z}}} \leq S_{5,2} \text{ (mm}^2\text{)}, \quad (7.24)$$

kde I_{th} je ekvivalentný otepľovací prúd (A), T_k je doba trvania skratu (s), c_0 je objemová hustota kapacity vodiča ($\text{J/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$), ϑ_f je fiktívna teplota ($^\circ\text{C}$), ρ_{20} je rezistivita medi pri teplote 20°C ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$), ϑ_k je maximálna dovolená teplota pri skrate ($^\circ\text{C}$), ϑ_z je maximálna dovolená teplota pri preťažení ($^\circ\text{C}$), odvodené z [19].

Ekvivalentný otepľovací prúd sa podľa [42] vypočíta ako:

$$I_{th} = I''_k \cdot \sqrt{m + n} \text{ (A)}, \quad (7.25)$$

kde m je súčiniteľ pre tepelné účinky jednosmernej zložky skratového prúdu (-) a n je súčiniteľ pre tepelné účinky striedavej zložky skratového prúdu (-). Pre elektrický blízky skrat sa podľa [19] uvažuje $n = 1$, a m sa vypočíta ako:

$$m = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot T_k \cdot \ln(\kappa - 1)} \cdot [e^{4\pi \cdot f \cdot T_k \cdot \ln(\kappa - 1)} - 1] \text{ (-)} \quad (7.26)$$

Koeficient κ sa podľa [42] vypočíta ako:

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-\frac{3R}{X}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{0,0765}{0,5083}} = 1,644, \quad (7.27)$$

kde R je reálna časť impedancie sústavy (Ω) a X je imaginárna časť impedancie sústavy (Ω).

$$m = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 0,1 \cdot \ln(1,644 - 1)} \cdot [e^{4\pi \cdot 50 \cdot 0,1 \cdot \ln(1,644 - 1)} - 1] = 0,0723$$

$$I_{th} = 6,425 \cdot \sqrt{0,0723 + 1} = 6,890 \text{ kA}$$

Minimálny prierez vodiča je potom:

$$S_{min} = \frac{6890 \cdot \sqrt{0,1}}{\sqrt{\frac{3,5 \cdot (234,5 + 20)}{0,01786}} \cdot \ln \frac{234,5 + 200}{234,5 + 80}} = 17,16 \text{ mm}^2$$

Z rovnice 7.27 vyplýva, že prierez prípojnic musí byť väčší ako $17,16 \text{ mm}^2$. A ten sa pre rúrkové vodiče vypočíta ako:

$$S_{5,2} = \pi \cdot (R^2 - r^2) = \pi \cdot (9^2 - 8^2) = 53,41 \text{ mm}^2, \quad (7.28)$$

kde R je polomer vonkajšej steny (mm) a r je polomer vnútornej steny fázového vodiča (mm).

Keďže prierez použitých vodičov na prípojniciach 5,2 kV je väčší ako minimálny prierez, podmienka pre tepelné účinky skratového prúdu je splnená a prípojnice z tohto hľadiska vyhovujú.

Podmienka pre dynamické účinky skratového prúdu vychádza z maximálneho namáhania medzi fázovými vodičmi a podľa [45] sa vypočíta ako:

$$\sigma_{tot} \leq q \cdot R_{p0,2} \text{ (MPa)}, \quad (7.29)$$

kde q je súčiniteľ plasticity prierezu vodiča (-) a $R_{p0,2}$ je namáhanie odpovedajúce minimálnej hodnote medze rozťažnosti materiálu (MPa). Toto namáhanie spôsobuje sila pôsobiaca na dva rovnobežné vodiče vyvolaná skratovým prúdom, ktorá sa podľa [45] vypočíta ako:

$$F_m = 2 \cdot 10^{-7} \cdot k \cdot \frac{i_p^2}{a}, \quad (7.30)$$

kde k je koeficient rešpektujúci usporiadanie vodičov a fázový posun prúdu v jednotlivých vodičoch (-), i_p je nárazový skratový prúd (A) a a je účinná vzdialenosť vodičov (m).

Nárazový skratový prúd sa vypočíta podľa [42] ako:

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,644 \cdot \sqrt{2} \cdot 6,425 = 14,94 \text{ kA} \quad (7.31)$$

Koeficient k zahŕňa pôsobenie skratového prúdu na jednotlivé vodiče, pre najhorší možný prípad a teda pôsobenie skratu na vodič umiestnený v strede má hodnotu $\sqrt{3}/2$. Vzdialenosti medzi jednotlivými fázovými vodičmi sú 0,15 m a potom maximálna sila medzi fázovými vodičmi bude:

$$F_m = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{(14,94 \cdot 10^3)^2}{0,15} = 257,7 \text{ N}$$

Pre výpočet σ_{tot} je potrebné spočítať ďalšie veličiny určujúce dynamickú odolnosť. Moment zotrvačnosti sa vypočíta podľa [45] ako:

$$J = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) = \frac{\pi}{64} (0,018^4 - 0,016^4) = 1,936 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4, \quad (7.32)$$

kde D je priemer vonkajšej steny vodiča (m) a d je priemer vnútornej steny (m). Prierezový modul sa potom vypočíta ako:

$$Z = \frac{J}{\frac{D}{2}} = \frac{1,936 \cdot 10^{-9}}{\frac{0,018}{2}} = 2,151 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3 \quad (7.33)$$

Ohybové namáhanie sa potom vypočíta ako:

$$\sigma_{tot} = V_\sigma V_r \cdot \beta \cdot \frac{F_m \cdot l}{8 \cdot Z} = 1 \cdot 0,73 \cdot \frac{257,7 \cdot 1}{8 \cdot 2,151 \cdot 10^{-7}} = 109,3 \text{ MPa}, \quad (7.34)$$

kde V_σ pomer dynamického a statického príspevku namáhania hlavného vodiča (-), V_r je pomer úspešného a neúspešného opätovného zapnutia k dynamickému namáhaniu hlavného vodiča (-) a podľa [19] majú hodnotu 1, súčiniteľ rešpektujúci typ upevnenia β má hodnotu 0,73 (-) a vzdialenosť medzi podperami l je 1 m.

Pre kruhový prierez vodičov sa podľa [47] q vypočíta ako:

$$q = 1,7 \frac{1 - \left(1 - \frac{2 \cdot s}{D}\right)^3}{1 - \left(1 - \frac{2 \cdot s}{D}\right)^4} = 1,7 \frac{1 - \left(1 - \frac{2 \cdot 0,002}{0,018}\right)^3}{1 - \left(1 - \frac{2 \cdot 0,002}{0,018}\right)^4} = 1,420, \quad (7.35)$$

kde s je hrúbka steny vodiča kruhového prierezu.

Podmienka pre odolnosť voči dynamickým účinkom skratového prúdu je potom:

$$\sigma_{tot} \leq q \cdot R_{p0,2}$$

$$109,3 \text{ MPa} \leq 1,420 \cdot 100 \text{ MPa}$$

$$109,3 \text{ MPa} \leq 142 \text{ MPa},$$

kde $R_{p0,2}$ má podľa [19] hodnotu 100 MPa.

Podmienka pre dynamické účinky skratového prúdu je splnená a prípojnice vyhovujú obom podmienkam skratovej odolnosti pre napäťovú hladinu 5,2 kV. Túto kontrolu je potrebné spraviť aj pre napäťovú hladinu 22 kV.

7.4.4 Výpočet skratového prúdu v mieste B

Miesto tohto skratu sa nachádza na prípojnicovom systéme v rozvodni 22 kV. Z toho vyplýva, že je potrebné prepočítať impedancie na toto vzťahné napätie.

$$\bar{Z}_{G1B} = \bar{Z}_{G1} \cdot \left(\frac{U_{vzB}}{U_{nG1}}\right)^2 = j \cdot 1,999 \cdot \left(\frac{22 \cdot 10^3}{5200}\right)^2 = j \cdot 35,77 \Omega$$

$$\bar{Z}_{G2B} = \bar{Z}_{G2} \cdot \left(\frac{U_{vzB}}{U_{nG2}} \right)^2 = j \cdot 3,880 \cdot \left(\frac{22 \cdot 10^3}{5200} \right)^2 = j \cdot 69,44 \, \Omega$$

$$\bar{Z}_{G3B} = \bar{Z}_{G3} \cdot \left(\frac{U_{vzB}}{U_{nG3}} \right)^2 = j \cdot 31,67 \cdot \left(\frac{22 \cdot 10^3}{400} \right)^2 = j \cdot 566,9 \, \Omega$$

$$\bar{Z}_{T1B} = \bar{Z}_{T1} \cdot \left(\frac{U_{vzB}}{U_{nT1}} \right)^2 = j \cdot 1,829 \cdot \left(\frac{22 \cdot 10^3}{5200} \right)^2 = j \cdot 32,73 \, \Omega$$

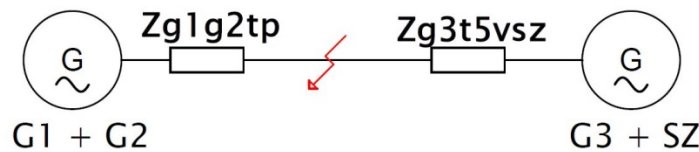
$$\bar{Z}_{T2B} = \bar{Z}_{T2} \cdot \left(\frac{U_{vzB}}{U_{nT2}} \right)^2 = j \cdot 1,649 \cdot \left(\frac{22 \cdot 10^3}{5200} \right)^2 = j \cdot 29,52 \, \Omega$$

$$\bar{Z}_{T4B} = \bar{Z}_{T4} \cdot \left(\frac{U_{vzB}}{U_{nT4}} \right)^2 = j \cdot 1,649 \cdot \left(\frac{22 \cdot 10^3}{5200} \right)^2 = j \cdot 29,52 \, \Omega$$

Postupným zjednodušovaním podľa obrázku 7-3 a obrázku 7-5 dostaneme jednotlivé impedancie:

$$\begin{aligned} \bar{Z}_{G1G2Tp} &= \frac{1}{\frac{1}{\bar{Z}_{G1B}} + \frac{1}{\bar{Z}_{G2B}}} + \frac{1}{\frac{1}{\bar{Z}_{T1B}} + \frac{1}{\bar{Z}_{T2B}} + \frac{1}{\bar{Z}_{T4B}}} = \\ &= \frac{1}{\frac{1}{j \cdot 35,77} + \frac{1}{j \cdot 69,44}} + \frac{1}{\frac{1}{j \cdot 32,73} + \frac{1}{j \cdot 29,52} + \frac{1}{j \cdot 29,52}} = j \cdot 33,78 \, \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{Z}_{G3T5VSZ} &= \frac{1}{\frac{1}{\bar{Z}_{G3B}} + \frac{1}{\bar{Z}_{T5}}} = \frac{1}{\frac{1}{j \cdot 566,9} + \frac{1}{3,641 + j \cdot 2,054 + j \cdot 2,243}} = \\ &= (3,592 + j \cdot 4,288) \, \Omega \end{aligned}$$



Obrázok 7-5: Postupné zjednodušovanie náhradnej schémy B

Celková impedancia pre miesto skratu B sa vypočíta ako:

$$\bar{Z}_{celkb} = \frac{1}{\frac{1}{\bar{Z}_{G1G2Tp}} + \frac{1}{\bar{Z}_{G3T5VSZ}}} = \frac{1}{\frac{1}{j \cdot 33,78} + \frac{1}{3,592 + j \cdot 4,288}} = (2,804 + j \cdot 4,070) \, \Omega$$

Skratový prúd v mieste B sa podľa [42] vypočíta ako:

$$I''_{kb} = \frac{c \cdot U_b}{\sqrt{3} \cdot Z_{celkb}} = \frac{1,1 \cdot 22 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 4,942} = 2,827 \, \text{kA}$$

7.4.5 Kontrola skratovej odolnosti prípojnic na hladine 22 kV

Rovnakým postupom je potrebné skontrolovať tepelné a dynamické účinky skratového prúdu na vodiče prípojnicového systému. Prípojnice v tejto časti rozvodne majú kruhový prierez s priemerom 12 mm a hrúbka steny je 2 mm.

Koeficient κ sa podľa [42] vypočíta ako:

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-\frac{3R}{X}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{2,804}{4,070}} = 1,144$$

Koeficient m , rešpektujúci tepelné účinky jednosmernej zložky skratového prúdu sa vypočíta:

$$m = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 0,1 \cdot \ln(1,144 - 1)} \cdot [e^{4\pi \cdot 50 \cdot 0,1 \cdot \ln(1,144 - 1)} - 1] = 0,0164$$

Ekvivalentný otepľovací prúd sa podľa [42] vypočíta ako:

$$I_{th} = 2,827 \cdot \sqrt{0,0164 + 1} = 2,850 \text{ kA}$$

Minimálny prierez fázového vodiča na strane 22 kV potom:

$$S_{min} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{T_k}}{\sqrt{\frac{c_0 \cdot (\vartheta_f + 20)}{\rho_{20}} \cdot \ln \frac{\vartheta_f + \vartheta_k}{\vartheta_f + \vartheta_z}}} = \frac{2850 \cdot \sqrt{0,1}}{\sqrt{\frac{3,5 \cdot (234,5 + 20)}{0,01786} \cdot \ln \frac{234,5 + 200}{234,5 + 80}}} = 7,098 \text{ mm}^2$$

$$S_{22} = \pi \cdot (R^2 - r^2) = \pi \cdot (6^2 - 5^2) = 34,56 \text{ mm}^2$$

Keďže prierez použitých vodičov na prípojniciach 22 kV je väčší ako minimálny prierez, podmienka pre tepelné účinky skratového prúdu je splnená a prípojnice z tohto hľadiska vyhovujú.

Ďalej je potrebné vypočítať ohybové namáhanie, ktoré sa vypočíta z nasledujúcich hodnôt rovnako ako pre hladinu 5,2 kV.

Nárazový skratový prúd sa vypočíta podľa [42] ako:

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,144 \cdot \sqrt{2} \cdot 2,827 = 4,574 \text{ kA}$$

Koeficient k zahŕňa pôsobenie skratového prúdu na jednotlivé vodiče, pre najhorší možný prípad a teda pôsobenie skratu na vodič umiestnenie v strede má hodnotu $\sqrt{3}/2$. Vzdialenosti medzi jednotlivými fázovými vodičmi sú 0,25 m a potom maximálna sila medzi fázovými vodičmi bude:

$$F_m = 2 \cdot 10^{-7} \cdot k \cdot \frac{i_p^2}{a} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{(4,574 \cdot 10^3)^2}{0,25} = 14,49 \text{ N}$$

Moment zotrvačnosti sa vypočíta podľa [45] ako:

$$J = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) = \frac{\pi}{64} (0,012^4 - 0,010^4) = 5,270 \cdot 10^{-10} \text{ m}^4$$

Prierezový modul sa potom vypočíta ako:

$$Z = \frac{J}{\frac{D}{2}} = \frac{5,270 \cdot 10^{-10}}{\frac{0,012}{2}} = 8,783 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3$$

$V_\sigma V_R$ podľa [19] majú hodnotu 1, súčiniteľ rešpektujúci typ upevnenia β má hodnotu 0,73 a vzdialenosť medzi podperami l je 1,5 m. Ohybové namáhanie sa potom vypočíta ako.

$$\sigma_{tot} = V_\sigma V_R \cdot \beta \cdot \frac{F_m \cdot l}{8 \cdot Z} = 1 \cdot 0,73 \cdot \frac{14,49 \cdot 1,5}{8 \cdot 8,783 \cdot 10^{-8}} = 22,58 \text{ MPa}$$

Pre kruhový prierez vodičov sa podľa [47] q vypočíta ako:

$$q = 1,7 \frac{1 - \left(1 - \frac{2 \cdot s}{D}\right)^3}{1 - \left(1 - \frac{2 \cdot s}{D}\right)^4} = 1,7 \frac{1 - \left(1 - \frac{2 \cdot 0,002}{0,012}\right)^3}{1 - \left(1 - \frac{2 \cdot 0,002}{0,012}\right)^4} = 1,491$$

Podmienka pre odolnosť voči dynamickým účinkom skratového prúdu je potom:

$$\sigma_{tot} \leq q \cdot R_{p0,2}$$

$$22,58 \text{ MPa} \leq 1,491 \cdot 100 \text{ MPa}$$

$$22,58 \text{ MPa} \leq 141,9 \text{ MPa}$$

Kde $R_{p0,2}$ má podľa [19] hodnotu 100 MPa.

Podmienka je splnená a prípojnice vyhovujú obom podmienkam skratovej odolnosti pre stranu na napäťovej hladine 22 kV.

Keďže prípojnice na oboch napäťových hladinách vyhovujú podmienkam pre skratovú odolnosť, je možné a vyhovujúce prevádzkovať paralelne transformátory T1, T2 a T4.

8 NÁVRH PREPÄŤOVÝCH OCHRÁN

Prepätia v elektrických sústavách môžu spôsobiť poruchy izolačných systémov alebo nesprávnu funkciu pripojených zariadení. Dôsledkom týchto javov sú neplánované výpadky dodávky elektrickej energie, ktoré spolu s nákladmi na opravu poškodených častí predstavujú finančné straty. Z technického a ekonomického hľadiska je teda nevyhnutná potreba opatrení, ktoré obmedzia možnosť vzniku prepätia, poprípade znížia ich nebezpečnosť pre spoľahlivý chod elektrickej sústavy.

8.1 Ochrana pred prepätiami

Každá elektrická sústava má svoje menovité parametre, ktoré je potrebné dodržiavať pre jej spoľahlivý chod. Jedným z týchto parametrov je najvyššie dovolené prevádzkové napätie, ktoré je priradené k menovitej efektívnej hodnote združeného napätia. Toto najvyššie dovolené napätie sa môže vyskytnúť v sústave za normálnej prevádzky v ktoromkoľvek mieste a v ktoromkoľvek čase. Podľa [49] maximálne prevádzkové napätie v sústave HC Jasenie – Starý závod, má hodnotu 25 kV.

Podľa [13] sa za prepätie dá považovať akékoľvek napätie, ktoré je vyššie ako amplitúda maximálneho prevádzkového napätia, čím nepriaznivo vplýva na elektrickú pevnosť sústavy a zariadení v nej. Prepätia sa delia podľa príčiny ich vzniku na [15]:

- Atmosférické prepätia
- Spínacie prevádzkové prepätia, ktoré vznikajú pri spínacích operáciách, zemných spojeniach alebo pri Ferrantiho jave
- Prepätia vzniknuté pri nukleárnom výbuchu
- Prepätia vzniknuté pri výbojoch statickej elektriny

8.1.1 Atmosférické prepätie

Atmosférické prepätie vzniká pri údere blesku v blízkosti alebo priamo do vonkajšieho vedenia. Tieto prepätia trvajú veľmi krátky čas, vo väčšine prípadov do 100 μ s. Väčšina bleskov je zo záporných mrakov. Prúd blesku prebieha aperiodicky v tvare vlny. Početnosť výskytu blesku s amplitúdou prúdu väčšou ako 10 kA bola na Slovensku zistená v 84%, s amplitúdou prúdu väčšou ako 100 kA došlo 1,8% prípadoch [16].

Atmosférické prepätia na vonkajších vedeniach vznikajú pri búrkach:

- Nepriamymi údermi (indukované prepätia)
- Priamymi údermi do fázových vodičov
- Priamymi údermi do uzemňovacích lán v rozpätí
- Priamymi údermi do stožiarov

Indukované prepätia sa tvoria elektrostatickou a elektromagnetickou indukciou od blesku, ktorý nezasiahne priamo vedenie. Šíria sa rýchlosťou svetla ako vlny s malým útlmom. Pri vstupe do objektu môžu vyvolať nebezpečné prepätia.

Napätie zaťažujúce izoláciu je dané rozdielom napätí na lane a na vodičoch. Ak je toto napätie vyššie ako preskokové napätie, dôjde medzi uzemňovacím lanom a jedným, popr. i niekoľkými vodičmi k spätnému preskoku. Priamy úder do stožiaru spôsobuje na vrchole stožiaru prepätie, ktorého veľkosť závisí od vlnovej impedancie uzemňovacích lán, vodičov, od

dĺžky rozpätia, od odporu uzemnenia stožiarov, od indukčnosti a vlnovej impedancie stožiaru a od strmosti prúdu blesku. Opäť môže dôjsť k spätnému preskoku.

Atmosférické prepätia sú smerodajné pre koordináciu izolácie až do najvyššieho napätia 245 kV, ale tak isto vedenia vyšších napätí je nutné opatriť náležitou ochranou proti prepätiu. Prepätia, ktoré vedú k preskokom po izolátoroch, nespôsobujú v mnohých prípadoch škody, ak nevznikne oblúk, alebo ak uhasne v dostatočne krátkej dobe [16].

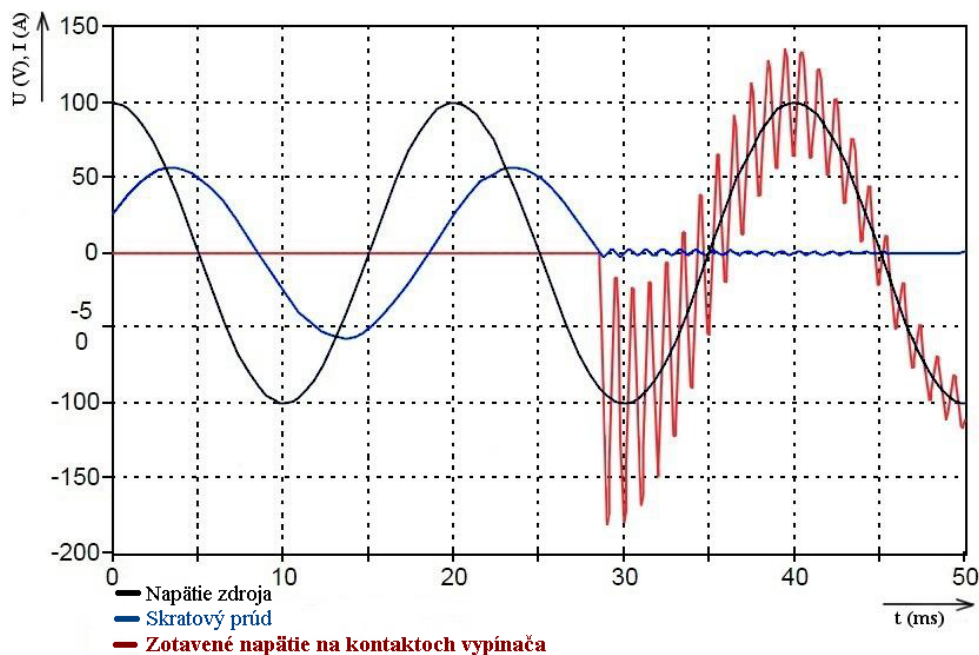
8.1.2 Spínacie prepätie

Spínacie alebo inak povedané prevádzkové prepätia sú spôsobené činnosťou človeka, najčastejšie ako sprievodný jav prechodného deja. Vznikajú pri spínacích operáciách vedení, transformátorov a iných zariadeniach pripojených do elektrickej sústavy, ako ak pri vzniku zemných spojení a skratov. Spínacie prepätie sa označuje pod skratkou SEMP (Switching Electromagnetic Pulse) [16].

8.1.2.1 Prepätie pri vypínaní skratu

Pochody, ktoré vznikajú pri vypínaní skratových i iných prúdov vo vypínači a v obvode, sú podmienené obvodom i vypínačom. Pri rozopnutí kontaktov vypínača vznikne elektrický oblúk, pričom vypnutie skratového prúdu závisí na rýchlosti jeho uhasenia. Napätie na kontaktoch vypínača je dané napätím oblúku pri rozopnutí kontaktov.

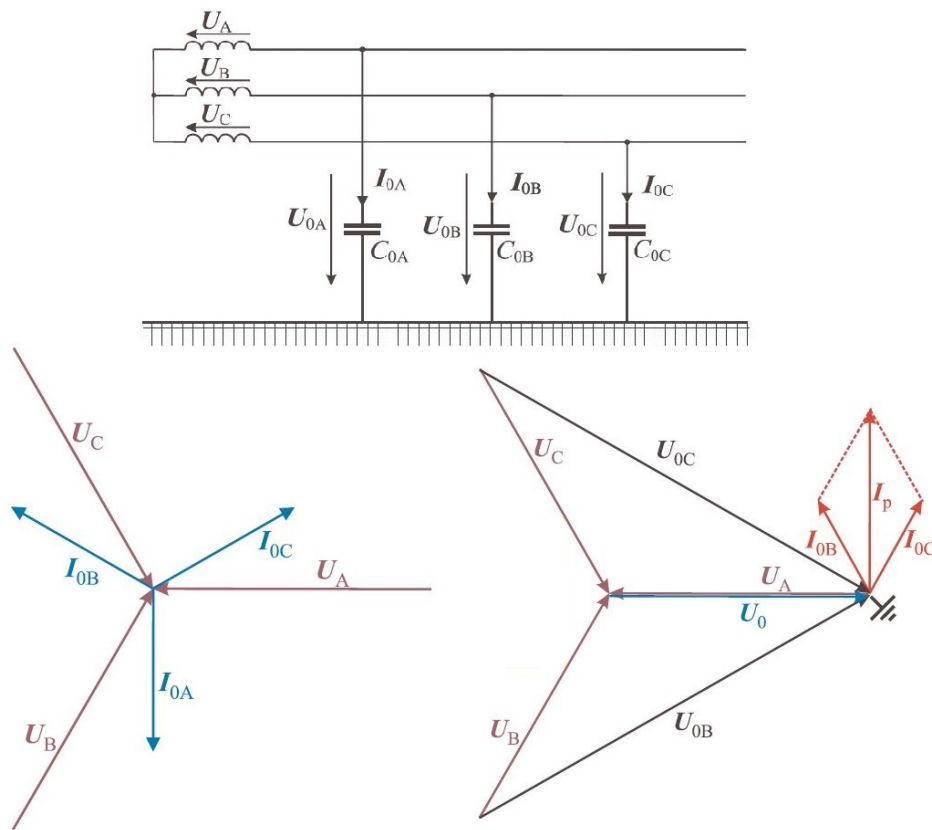
Prepätie pri vypínaní skratu vzniká po prerušení prúdu, kde sa medzi kontaktmi vypínača objaví zotavené napätie, ktoré prevyšuje najvyššie dovolené napätie v sieti. Skladá sa z napätia sieťovej frekvencie, na ktorom je nabalená prechodná zložka napätia s frekvenciou obvodu zdroja [18].



Obrázok 8-1: Priebeh zotaveného napätia pri vypínaní skratu (upravené autorom) [18]

8.1.2.2 Prepätie pri zemnom spojení

Zemné spojenie môže nastať len pri izolovanej a kompenzovanej sústave. Izolovaná elektrická sústava nemá spojený nulový bod so zemou a pri spojení jednej fáze so zemou vznikne porucha zemné spojenie. Pri zemnom spojení tečie poruchovým obvodom prúd daný kapacitou vedenia sústavy. Napätie poškodenej fáze sa blíži k nule a napätie na zdravých fázach vzrastie na združené. Ako izolované sa prevádzkujú siete vysokého napätia malého rozsahu, kde poruchový prúd neprekračuje hodnotu 20 A.



Obrázok 8-2: Vznik prepätia pri zemnom spojení v izolovanej sieti[19]

Pri zemnom spojení teda vznikajú dočasné prepätia sieťovej frekvencie, avšak pri zapínaní/vypínaní tejto poruchy ako aj pri prerušovanom zemnom spojení vznikajú prechodné prepätia oscilačného charakteru. Tieto prepätia môžu byť umocňované odrazmi a rezonanciou. Pre ich potlačenie sa používa zhášacia tlmivka.

8.2 Prepäťové ochranné zariadenia

Podľa [15] sa jedná o zvodice bleskových prúdov a prepätia. Ich účelom je vyrovnanie potenciálu v prípadoch, keď nejde jednotlivé vodivé časti, pri ktorých môže vzniknúť rozdiel potenciálov, prepojiť priamou galvanickou väzbou. Pri normálnej prevádzke chráneného zariadenia sa spravidla vôbec neprejavuje a jeho činnosť je aktivovaná v prípade nárastom amplitúdy svorkového napätia.

SPD sa realizuje v nasledovných troch stupňoch ochrany, pričom jednotlivým triedam vonkajšej ochrany musia odpovedať triedy vonkajšej ochrany:

1. Stupeň je na rozhraní LPZ 0 s LPZ 1. Na mieste použitia musí byť vždy zariadenie ochrany pred prepätím triedy I podľa IEC 61643-1 prípadne zvodice bleskových prúdov triedy B, ktoré sa

umiestňujú do prípojkovvej skrine alebo hlavného rozvádzača a sú odskúšané rázovou vlnou bleskového prúdu.

2. Stupeň tvorí rozhranie LPZ 1 a LPZ 2, ktoré má vlastnosti ochrany triedy II, prípadne zvodičov prepätia triedy C, ktoré sa umiestňujú do podružných rozvádzačov.

3. Stupeň je na rozhraní LPZ 2 a LPZ 3, kde patria ochrany pred prepätím triedy III alebo zvodiče prepätia triedy D, ktoré sa inštalujú čo najbližšie k chráneným zariadeniam.

Klasifikácie a parametre SPD podľa [15]:

- jednosvorkové - zapojené paralelne k chránenému obvodu
- dvojsvorkové - s oddelenými vstupnými a výstupnými svorkami, medzi nimi je zapojená štruktúra SPD

Podľa tvaru pracovnej charakteristiky:

- spínajúce prepätia - s veľkou impedanciou v kludovom stave a reagujúce na výskyt prepätia náhlou zmenou impedancie na veľmi nízku úroveň (iskrište)
- obmedzujúce prepätia - s veľkou impedanciou v kludovom stave a reagujúce na výskyt prepätia plynulým zmenšením impedancie na malú hodnotu (varistor, supresorová dióda)
- kombinovaná - využívajúca prvky z oboch skupín

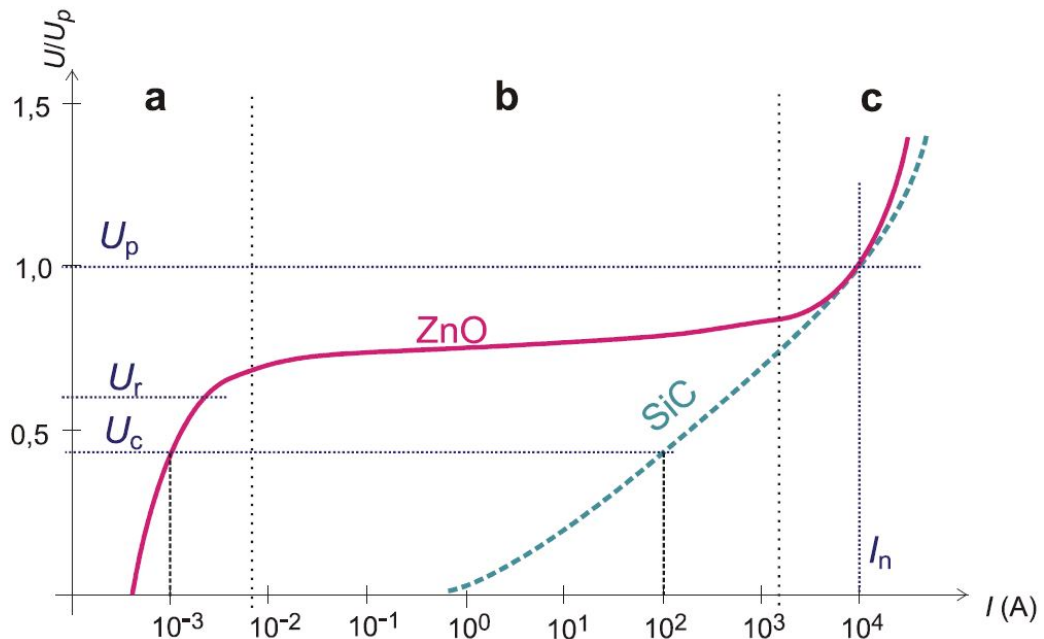
Zvodiče prepätia sa pripojujú paralelne k chráneným zariadeniam a majú zaistiť, aby na týchto zariadeniach nevznikalo napätie vyššie ako je dovolené. Aj napriek rôznej konštrukcii a odlišných vlastnostiach majú spoločný princíp, a to je zmena impedancie s rastúcim napätím [13].

8.2.1 Zvodiče prepätia využívajúce nelineárne odpory

V dnešnej dobe sa ako prepäťové ochranné zariadenia používajú zvodiče na báze nelineárnych odporov. Tieto zvodiče dokážu meniť rezistenciu v širokom rozsahu v závislosti na priloženom napätí a tak zaistujú spoľahlivú funkciu prepäťovej ochrany. Ich voltampérová charakteristika sa dá podľa [18] popísať vztáhom:

$$I = kU^{\alpha}, \quad (6.1)$$

kde α závisí na materiály a veľkosti priloženého napätia. Táto charakteristika je zobrazená je zobrazená na obrázku pre zvodiče z oxidu zinku (ZnO) a karbidu kremíku (SiC).



Obrázok 8-3: Napäťová závislosť zvodíčov prepätia zo ZnO a SiC [18]

8.2.1.1 Zvodíče prepätia so ZnO

Tieto zvodíče prepätia sa považujú za najspoľahlivejšie a najrozšírenejšie v distribučných sieťach vysokého napätia, kde postupne nahrádzovali ventilovébleskoistky. Napäťovo závislé odpory ZnO sa môžu použiť ako zvodíče priamo bez zapáľovacích iskrísk vďaka ich plochej charakteristike [18].

Medzi základné parametre podľa [20] patria:

- Trvalé prevádzkové napätie U_c – určuje najvyššiu prípustnú hodnotu sínusového napätia priemyselnej frekvencie, ktoré môže byť trvalo pripojené na svorky obmedzovača prepätia:
 - pri sieťach s automatickým vypínaním zemnej poruchy $U_c \geq \frac{U_m}{\sqrt{3}}$
 - v izolovaných alebo kompenzovaných sieťach $U_c = U_m$

Trvalé prevádzkové napätie musí byť volené s ohľadom na predpokladané dočasné napätia U_{TOV} a dobu, počas ktorej tieto prepätia pôsobia

$$U_c \geq \frac{U_{TOV}}{T(t)} \quad (6.2)$$

- Menovité napätie U_r – je najvyššie striedavé napätie priemyselnej frekvencie, ktoré sa používa pri skúške prevádzkovej funkcie po dobu 10 s. Táto hodnota napätia priložená medzi svorkami zvodíča nesmie ovplyvniť jeho funkciu
- Zbytkové napätie pri menovitom výbojovom prúde U_{res} – značí úbytok napätia na bleskoistke vyvolaný prechodom výbojového prúdu, ktorý určuje ochrannú hladinu bleskoistky
- Menovitý výbojový prúd I_n – vrcholová hodnota atmosférického prúdového impulzu, ktorá sa používa pre klasifikáciu obmedzovača prepätia. Jeho hodnota zvyčajne býva 5, 10 alebo 20 kA.

- Ochranná hladina U_p je určená zo zbytkových napätí pri atmosférickom a spínacom impulze
- Trieda vybitia vedenia charakterizuje schopnosť obmedzovača absorbovať energiu výbojového prúdu, ktorý má určitý tvar a amplitúdu. Podľa veľkosti tejto energie sú z vodiče klasifikované triedou vybitia. Obmedzovačom s nominálnym výbojovým prúdom 10 kA sa priradzujú triedy vybitia 1, 2, 3 a triedu vybitia 4 alebo 5 majú z vodiče s nominálnym výbojovým prúdom 20 kA. Z vodiče s nižšími hodnotami výbojových prúdov nemajú priradenú triedu vybitia.

8.2.2 Zásady dimenzovania obmedzovačov prepätia

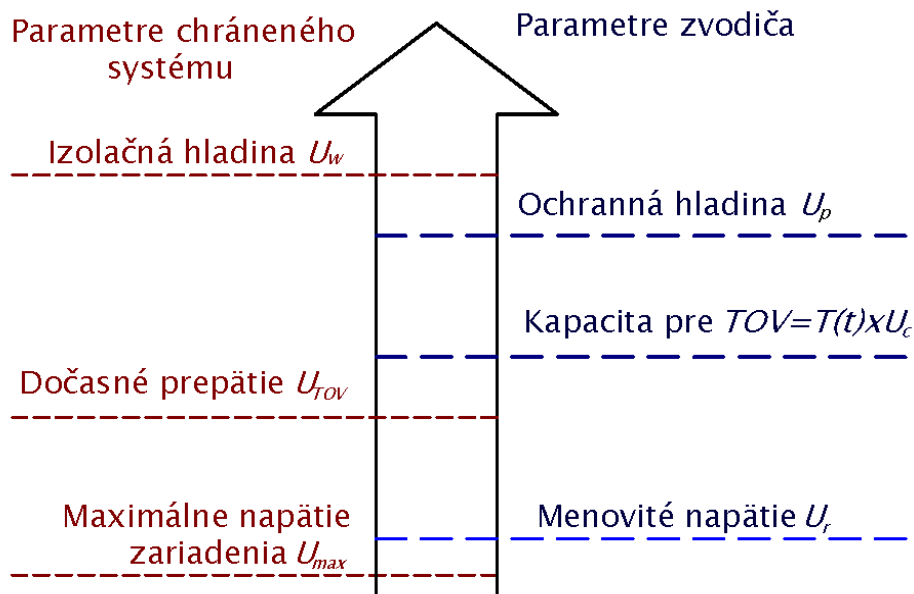
Obmedzovače prepätia sa dimenzujú pre konkrétne umiestnenie v sieti, kde majú špecifické podmienky namáhania prepätiami a kde sú kladené špecifické požiadavky na ochranu. Sú odlišné pri chránení transformátoru, vývodu vedenia alebo pri prechode vedenia do kábla. Medzi hlavné parametre, na ktoré sa obmedzovač dimenzuje patria trvalé prevádzkové napätie, nominálny výbojový prúd a trieda vybitia.

V [20] sa píše, že nesprávna voľba trvalého prevádzkového napätia U_c môže mať negatívny vplyv na jeho funkciu a tým priamo ovplyvní spoľahlivosť dodávky. Môžu nastať dva prípady:

- a) Pri zvolení nízkeho U_c , bude ochranná hladina U_{res} a s ňou spojené riziko poruchy chráneného zariadenia nízke. Nevýhodou je, že sa zvýši riziko tepelného namáhania obmedzovača dočasnými prepätiami a tak pravdepodobnosť jeho poruchy bude vysoká.
- b) Naopak, pokiaľ sa zvolí vysoké U_c , tak riziko poruchy obmedzovača pri dočasných prepätiach bezvýznamné, ale vplyvom vysokej ochrannej hladiny U_{res} vznikne vyššia pravdepodobnosť zničenia chráneného zariadenia.

Správna voľba trvalého prevádzkového napätia U_c by mala viesť k optimálnym parametrom ochrany a teda riziko by malo byť vyvážené z oboch strán.

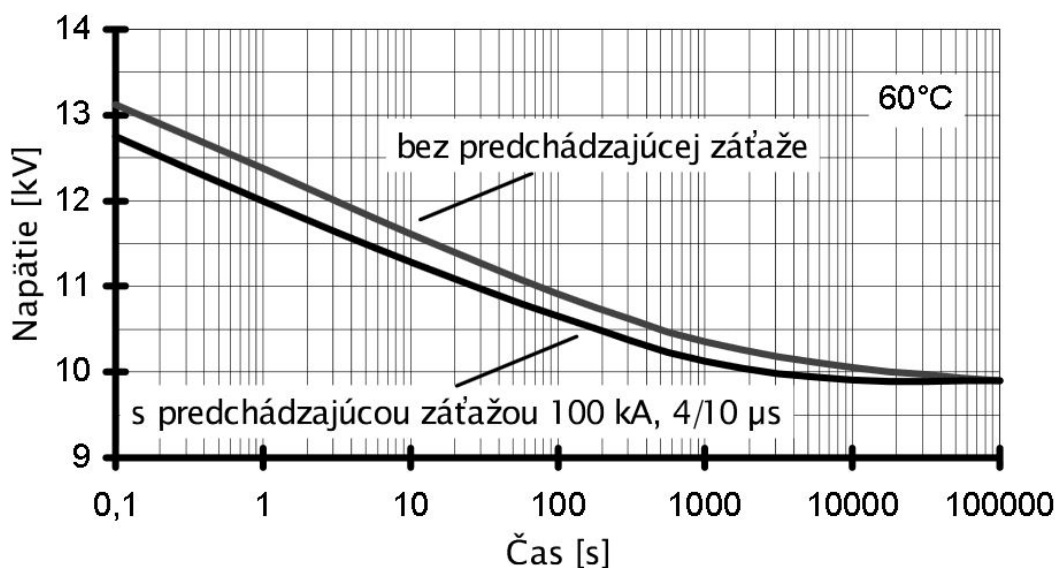
Pri voľbe triedy vybitia sa vychádza z napätia siete, v ktorej je obmedzovač použitý, pretože so zvyšovaním napätia rastie aj energia, ktorú musí obmedzovač absorbovať. Podľa [20] sa v sieťach vysokého napätia používajú obmedzovače bez klasifikácie s triedou vybitia 1 a 2.



Obrázok 8-4: Vzťah medzi základnými parametrami obmedzovača prepätia a chráneným systémom (upravené autorom) [18]

Pri návrhu obmedzovača prepätia sa vychádza aj z takzvanej TOV (Temporary Overvoltage) charakteristiky, ktorá udáva ako dlho môže pôsobiť napätie na obmedzovač prepätia pri určitom čase bez toho aby ho poškodil. V charakteristike sú väčšinou dve krivky. Vyššia udáva závislosť pre obmedzovač, ktorý nebol namáhaný prepätím a druhá popisuje obmedzovač, ktorý už absorboval určitú energiu impulzu.

Túto závislosť zobrazuje nasledujúci obrázok, kde sa jedná o obmedzovač prepätia s prevádzkovým napätím $U_c = 9$ kV a menovitým napätím $U_r = 11$ kV.



Obrázok 8-5: TOV charakteristika obmedzovača prepätia [23]

Zlepšenie úrovne chránenia zariadenia sa dá dosiahnuť zvýšením základnej impulznej izolačnej hladiny zariadenia (*BIL* – Basic Impulse Insulation Level) nad ochrannú úroveň U_p zvodiča. Pre elektrické zariadenia, ktoré sú vystavené atmosférickým prepätiam, norma IEC

udáva pre koordináciu izolácie hodnoty BIL podľa tabuľky 8-2. V sieťach vysokého napätia je požiadavka aby $BIL > 1,4 U_p$. Keďže prepätie v elektrickom poli môže prekročiť U_p , činiteľ 1,4 udáva akúsi rezervu pri výpočte [18].

Tabuľka 8-1: Hodnoty izolačných hladín a ochranných úrovní zvodičov prepätia [18]

Maximálne dovolené napätie U_m (kV)	3,6	7,2	12	17,5	24
Základná izolačná hladina zariadenia BIL (kV)	40	60	75	95	125
Ochranná úroveň zvodiča U_p (kV)	11,8	23,5	39,2	57,2	78,4
Pomer BIL/U_p (-)	3,4	2,55	1,91	1,66	1,59

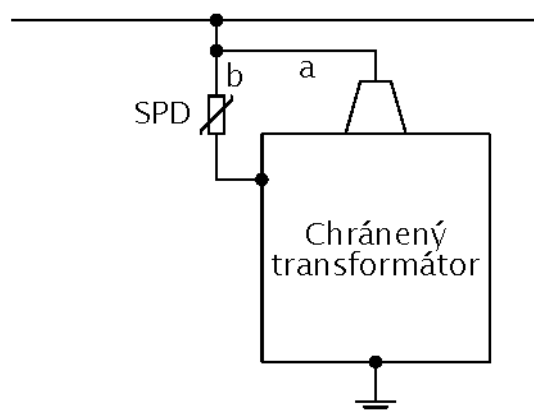
8.2.3 Umiestnenie zvodičov prepätia

Zvodič predstavuje pre prepäťovú vlnu rozhranie, na ktorom dochádza z časti k odrazu a z časti k prechodu vlny. Ak vodič chráni transformátor, ktorého impedancia je vysoká, dôjde po príchode obmedzenej vlny na transformátor k jej odrazu a tým k vzniku napätia odpovedajúcemu dvojnásobku zapalovacieho napätia zvodiča. Aby zvodič mohol zabrániť vzniku tak veľkého napätia, je treba umiestniť ho podľa [20] čo najbližšie k chránenému zariadeniu.

8.2.4 Pravidlá pre pripojovanie obmedzovačov prepätia

Pri pripojovaní obmedzovačov prepätia sa podľa [20] vychádza zo štyroch základných pravidiel:

- 1) Obmedzovače prepätia a zariadenie, ktoré ma byť chránené musí byť uzemnené na spoločný systém uzemnenia. Galvanické spojenie medzi uzemňovacími svorkami obmedzovačov a uzemnením chráneného zariadenia musí byť čo najkratšie.
- 2) Celková dĺžka vodičov a a b pripojenia obmedzovačov musí byť čo najkratšia
- 3) Vždy sa odporúča, aby vodič b bol čo najkratší alebo aspoň kratší ako vodič a
- 4) Pre pripojovanie sú vhodnejšie pásikové vodiče ako vodiče s kruhovým prierezom, pretože pri rovnakom priereze majú pásikové vodiče menšiu indukčnosť a impulzné úbytky prepätia sú na nich menšie. Minimálny priemer pripojovacieho vodiča je 6 mm a minimálna šírka pásikového vodiča je 12 mm



Obrázok 8-6: Umiestnenie obmedzovača prepätia pri chránení transformátoru podľa [20]

8.2.5 Koordinácia izolácie zariadení

V elektrickej sústave nastáva celá rada prevádzkových stavov a situácií, pri ktorých dochádza k vzniku prepätia. Aj keď existujú opatrenia, ktorými sa dá znížiť pravdepodobnosť ich vzniku a obmedziť ich veľkosť, vždy je treba s ich výskytom počítať.

Koordinácia izolácie je hľadanie kompromisu medzi úrovňou dimenzovania izolačných systémov prvok elektrickej sústavy, aby prepätie neohrozovalo ich spoľahlivosť, a medzi výškou nákladov potrebných na zaobstaranie týchto systémov.

Technická a ekonomická optimalizácia návrhu izolačných systémov a opatrení obmedzujúcich výskyt prepätí musí vychádzať podľa [13] z nasledujúcich podkladov:

- pravdepodobná veľkosť a počet výskytov atmosférických, spínacích a ostatných prepätí, ktorými sú vystavované izolačné systémy danej sústavy
- úroveň odolnosti všetkých izolačných systémov voči prepätiam a to nie len z hľadiska ich veľkosti ale aj časového priebehu
- parametre rozmiestnenia zvodíčov prepätia a účinnosť ostatných opatrení proti vzniku prepätí (zemné lano na vedeniach, špeciálne konštrukcie vypínačov)
- obstarávacia cena a prevádzkové náklady spojené s realizáciou navrhnutej varianty, náklady spojené s výpadkom zariadenia spôsobeným zlyhaním jeho izolačného stavu

Izolačné systémy môžu byť tvorené pevným, kvapalným alebo plyným izolantom, najčastejšie ich kombináciou. Odolnosť izolačných systémov závisí okrem veľkosti napätia aj na dobe ich priloženia na izolačný systém.

8.2.5.1 Základné postupy pri koordinácii izolácie

Vznik prepätia v elektrickej sústave nejde vylúčiť a nejde vylúčiť, že aj napriek opatreniam nedôjde k prekročeniu izolačnej hladiny niektorého zariadenia. Ak dôjde k prierazu alebo preskoku v izolačnom systéme, má to za následok vznik skraty so všetkými sprevádzajúcimi javmi. Vznik tejto poruchy často spôsobí zničenie zariadenia a tým jeho ukončenie činnosti, čo vedie k poruchovému stavu a stratám.

Pokiaľ už musíme pripustiť vznik poruchy izolačného systému niektorého zariadenia v dôsledku vzniku prepätia, nech k tomu dôjde na zariadení, na ktorom vznikne najmenšia škoda. V tom spočíva koordinácia izolácie. Najnižšiu izolačnú hladinu v sústave (ochranná hladina) vytvárajú zvodíče prepätia, najvyššiu transformátory a s nimi porovnateľné zariadenia. Medzi týmito dvoma hladinami sa nachádza základná izolačná hladina vedenia. Týmto je zaistené, že pokiaľ nie je prepätie zvedené zvodíčom prepätia, dôjde s veľkou pravdepodobnosťou k preskoku na izolátore. Čím sa za cenu krátkodobého výpadku sústavy obmedzí riziko zničenia transformátora [13].

8.3 Návrh prepäťových ochrán v HC jasaníe a vo vstupnej rozvodni Starého závodu

Cieľom tejto kapitoly je aplikovať poznatky z predchádzajúcej časti o ochrane objektov a zariadení pred nepriaznivými účinkami prepätí, na vytvorenie spoľahlivého systému ochrany pred prepätím v HC Jasaníe ako aj rozvodni 22 kV v Starom závode. Kapitola obsahuje kontrolu aktuálnych prepäťových ochrán v týchto objektoch a návrh na doplnenie, modernizáciu týchto

ochrán za účelom zvýšenia spoľahlivosti a bezpečnosti prevádzky. Všetky tieto zmeny budú zaznamenané do aktuálnych schém rozvodní oboch objektov.

Keďže oba objekty sú v prevádzke už niekoľko desaťročí, je zrejmé, že disponujú funkčnými ochrannými systémami, ktoré zvyšujú spoľahlivosť a bezpečnosť celej prevádzky. Medzi takéto systémy nepochybne patrí aj ochrana voči prepätiam.

Systém vonkajšej ochrany pred atmosférickými prepätiami musí byť zahrnutý už pri výstavbe objektu a musí sa rátať s jeho spoľahlivosťou aj do budúcnosti. Keďže je konštrukčne a principiálne jednoduchý, a pravidelne vyhovuje podmienkam pri revíziách, nie je potrebné v tejto práci sa ďalej zaoberať jeho modernizáciou ale návrhmi na úpravu. Tieto návrhy by mohli viesť k zlepšeniu vonkajšej ochrany ale náklady by boli vysoko neúmerné dosiahnutým výsledkom.

Vnúťorná ochrana má za úlohu ochrániť zariadenia vo vnútri chráneného objektu pred účinkami atmosférického prepätia, ktoré spôsobujú vznik rozdielu potenciálov a teda nebezpečného napätia.

8.3.1 Návrh obmedzovačov prepätia v HC Jasenie

Prepäťová ochrana v hydrocentrále Jasenie pozostáva len z ventilových bleskoistiek na hladine 22 kV a na hladine 5,2 kV. Na hladine 22 kV sú bleskoistky umiestnené len na vyvedení výkonu a samostatne nie sú chránené žiadne zariadenia. Podobne to je aj v rozvodni 5,2 kV, kde sú bleskoistky umiestnené v kobke č.2 a rovnako nie sú chránené žiadne iné zariadenia ani časti káblového vedenia.

Návrh prepäťových ochrán sa bude zaoberať výmenou starých bleskoistiek za obmedzovače prepätia a aj zmenou ich umiestnenia. Použité obmedzovače prepätia sú od firmy ABB, konkrétne model MWK. Ich parametre sú uvedené v príslušných tabuľkách. Pri tomto návrhu sa vychádza z predchádzajúcich kapitol, ktoré zhŕňajú nazbierané informácie o tejto problematike z použitej literatúry.

Prvý obmedzovač prepätia by mal nahradiť bleskoistku na začiatku vzdušného vedenia 22 kV. Mal by tvoriť prvý stupeň ochrany pred bleskom a zviazať čo najväčšiu časť bleskového prúdu. Podľa [20] bude vhodné u tohto obmedzovača zvoliť vyššie trvalé prevádzkové napätie, pretože sa tým zvýši úroveň bezpečnosti pri atmosférických prepätiach.

Podľa [20] pre sieť vysokého napätia, ktorá je prevádzkovaná ako izolovaná s uvažovaním dlho trvajúcich zemných spojení, sa určí trvalé prevádzkové napätie obmedzovača zo vzťahu:

$$U_c \geq 1,06 \cdot U_m, \quad (7.3)$$

kde U_c je trvalé prevádzkové napätie a U_m je maximálne napätie, pri ktorom sa môže sieť trvale prevádzkovať. Podľa [49] odpovedá hladine 22 kV maximálne napätie 25 kV, po dosadení do vzťahu dostaneme výsledné trvalé prevádzkové napätie obmedzovača, ktoré nesmie byť menšie ako:

$$U_c \geq 1,06 \cdot 25 = 26,5 \text{ kV} \quad (7.4)$$

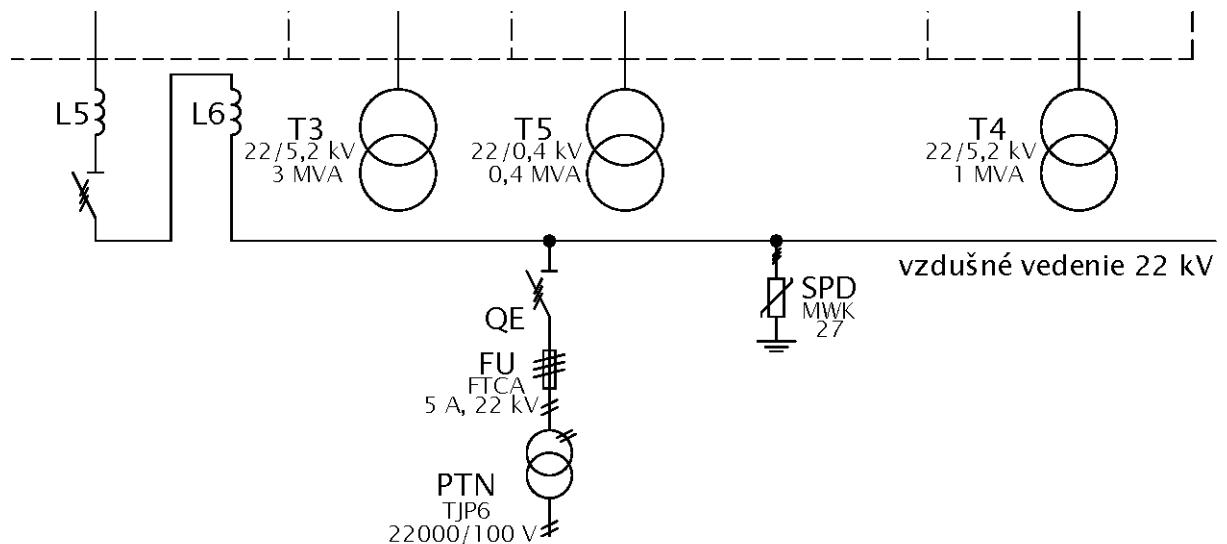
Z tejto rovnice vyplýva, že trvalé prevádzkové napätie nesmie byť menšie ako 26,5 kV. Pri návrhu tohto napätia z menovitej rady je zvoliť $U_c = 27 \text{ kV}$. Parametre zvoleného obmedzovača sú:

Tabuľka 8-2: Menovité parametre použitého obmedzovača prepätia MWK 27 v HC Jasenie [48]

U_c (kV)	U_r (kV)	U_{res} (kV)	Trieda vybitia	I_n (kA)
27	33,8	82,9	2	10

Jeho ďalšie technické parametre sú uvedené v prílohe. Z hľadiska koordinácie izolácie tento návrh vyhovuje, pretože v sústave maximálnym prevádzkovým napätím 25 kV je podľa tabuľky 8-2 priradená izolačná hladina zariadení 125 kV, ktorá je omnoho väčšia ako zostatkové napätie $U_{res} = 82,9$ kV.

Keďže vyvedenie výkonu je realizované bez káblového vyústenia, neobsahuje teda rozdielne vlnové rozhranie, z čoho vyplýva, že stačí použiť len jednu skupinu obmedzovačov prepätia na mieste pôvodných ventilových bleskoistiek. Na hladine 5,2 kV nie je potrebné použiť obmedzovače prepätia, pretože za ochranným prepäťovým zariadením na hladine 22 kV sa nachádzajú tlmičky obmedzujúce prechodné javy a transformátor, cez ktorý sa zostatkové prepätie neprenesie.



Obrázok 8-7: Umiestnenie obmedzovačov prepätia na hladine 22 kV v HC Jasenie

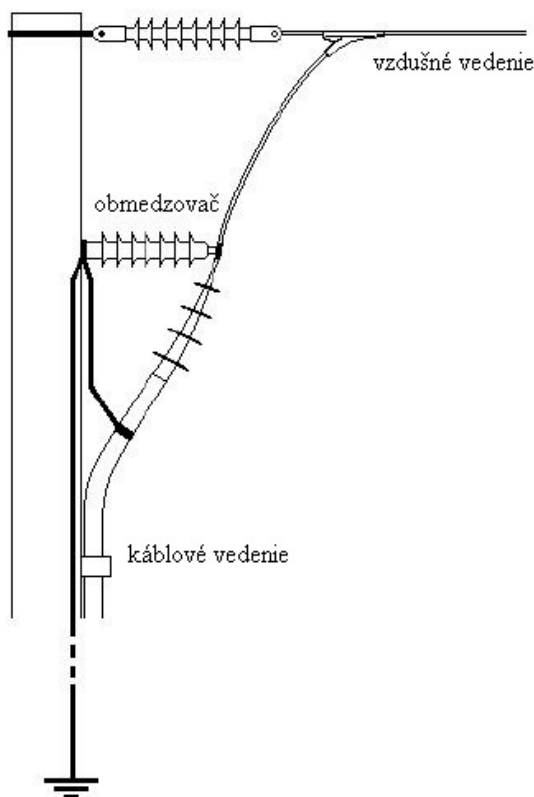
8.3.2 Návrh obmedzovačov prepätia v objekte rozvodni Starého závodu

Podobne ako v HC Jasenie tvoria prepäťovú ochranu tohto objektu ventilové bleskoistky. Na hladine 22 kV sú umiestnené na oceľovom stožiaru na rozhraní vzdušné vedenie - kábel pri vstupe do objektu z prívodov HC Jasenie a Dubová, avšak ich typ je nezistený. Ďalej sú v rozvodni 22 kV v kobke č. 4, 12 umiestnené ventilové bleskoistky typu TLPB 22, 1000A-31 a v rozvodni 6 kV sú umiestnené bleskoistky typu TLPB 10, 1000A-31 v kobke č. 13.

Keďže kábel prívodu z HC Jasenie a Dubová má dĺžku približne 300 m, podľa [20] je potrebné použiť obmedzovače prepätia na oboch stranách rozhrania rovnako ako pri linke č. 387, ktorá tvorí prívod z HC Dubová.

Podľa [20] pripojenie zemných svoriek by malo byť realizované čo najkratším spôsobom na konštrukciu stožiaru alebo k uzemňovaciemu zvodu stĺpu. Plášť kábla musí byť rovnako pripojený čo najkratším spôsobom do miesta pripojenia zemných svoriek uzemňovača. Fázový vodič sa musí čo najviac priblížiť vn svorke obmedzovača tak, aby pripojenie medzi vn svorkou

obmedzovača a fázovým vodičom bolo čo najkratšie. Takisto aj fázový vodič medzi obmedzovačom a káblou koncovkou musí byť čo najkratší. Optimálne usporiadanie je zobrazené na nasledujúcom obrázku.



Obrázok 8-8: Umiestnenie obmedzovača prepätia na stožiar pri káblom vyústení [20]

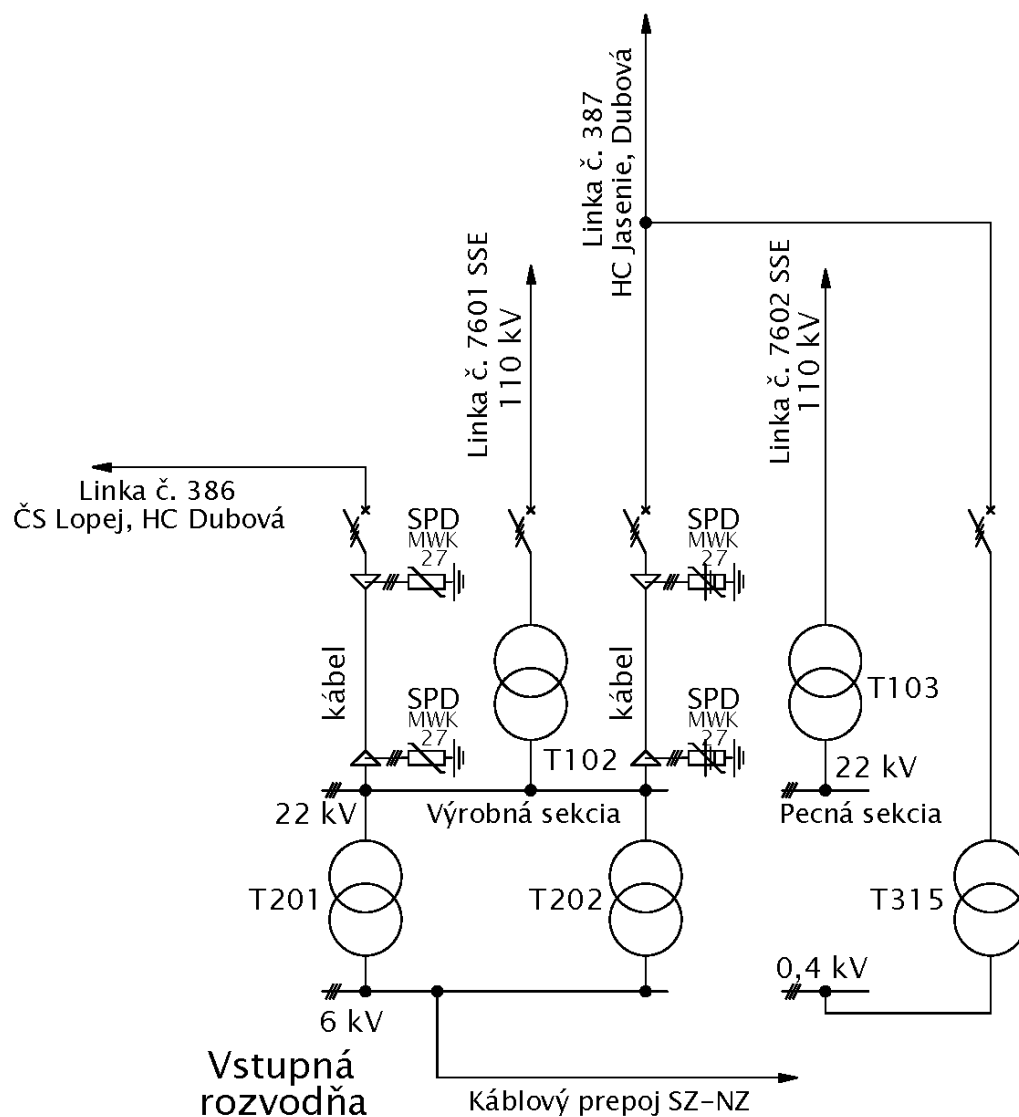
Návrh vychádza z rovnakých predpokladov ako pri návrhu v HC Jasenie, kde sa ráta s pretrvávajúcimi zemnými spojeniami a izolovanou sieťou. Rovnako by mali tieto ochranné zariadenia tvoriť prvý stupeň ochrany pred atmosférickými prepätiami a teda voľba trvalého prevádzkového napätia by mala optimálne inklinovať k vyššej hodnote z menovitej rady.

Výpočet tohto hlavného parametra vychádza z rovníc 7.1 a 7.2, pričom výpočet je rovnaký a voľba toho istého obmedzovača prepätia sa dá aplikovať aj na tento chránený objekt. Z toho vyplýva, že parametre zvodičov prepätia na hladine 22 kV sú:

Tabuľka 8-3: Menovité parametre použitého obmedzovača prepätia MWK 27 v rozvodni Starého závodu

U_c (kV)	U_r (kV)	U_{res} (kV)	Trieda vybitia	I_n (kA)
27	33,8	82,9	2	10

Rovnako ako v HC Jasenie sú podmienky pre koordináciu izolácie splnené a umiestnenie obmedzovačov je zobrazené na nasledujúcom obrázku. Týmto je návrh prepäťových ochrán konečný, keďže sa práca zaoberá len prevádzkou HC Jasenie.



Obrázok 8-9: Umiestnenie obmedzovačov prepätia na káblových úsekoch 22 kV vo vstupnej rozvodni Starého závodu

9 ZÁVER

Hlavným cieľom tejto práce bolo zlepšiť spoľahlivosť prevádzky a dodávky elektrickej energie z HC Jasenie do Železiarní Podbrezová. Konkrétne sa jednalo o preizoláciu vedenia, ktoré spája tieto dve miesta, návrh chránenia a prenosu dát, návrh záložného transformátoru a prepäťových ochrán.

Prvá časť práce zhrnula aktuálny stav prevádzky, prehľad vlastných zdrojov výroby elektrickej energie a opatrenia, ktoré by bolo vhodné vykonať. Je dôležitou súčasťou pre ďalšie kapitoly, v ktorých sú realizované jednotlivé body zadania. Prínos práce je zhrnutý v nasledujúcich riadkoch.

Medzi prvé opatrenie na zvýšenie spoľahlivosti dodávky elektrickej energie patrí preizolácia vedenia 22 kV. V tejto kapitole je vytvorený návrh výmeny pôvodných izolátorov za nové. Návrh je v súlade s príslušnými normami a obsahuje aj kontrolné výpočty, potrebné pre odolnosť voči mechanickému aj elektrickému namáhaniu. Uvedené sú nové typy izolátorov s ich parametrami a umiestnením.

V kapitole 6 je uvedený návrh multifunkčnej ochrany, ktorá nahrádza pôvodnú ochranu na odchádzajúcom vedení. Prínosom je smerová detekcia zemného spojenia, ktoré sa v tejto prevádzke vyskytuje. Táto ochrana vymedzuje lokalitu, v ktorej časti siete sa porucha vyskytne a tak znižuje čas k jej nájdeniu a odstráneniu, čo by malo viesť k zníženiu doby poruchového stavu.

Táto kapitola obsahuje aj návrh prenosu dát z ochrán do budovy energetiky. Popisuje potrebné komunikačné vybavenie v podobe prevodníku z RS232 na WiFi, jeho podrobné nastavenie a potrebné vybavenie multifunkčnej smerovej ochrany pre jednoduchú komunikáciu. Toto opatrenie má zaistiť prehľadnosť prevádzky, rýchlu odozvu pri poruchových stavoch ako aj vizualizáciu udalostí vyhodnotených ochranou.

Kapitola 7 sa zaoberá návrhom záložného transformátoru pre vyvedenie výkonu. Sú v nej uvedené podmienky pre správnu paralelnú spoluprácu transformátorov a následne aj výber konkrétneho transformátoru. Komplikácia vznikla netypickým primárnym napätím a tomu bol prispôsobený návrh, kde sa uvádza maximálny možný prenášaný výkon pri paralelnej spolupráci transformátorov T1, T2 a T4. Ďalším prínosom práce je aj uvedená kontrola prípojníc voči tepelným a dynamickým účinkom pri tvrdom trojfázovom skrate na oboch napäťových hladinách. K tomuto výpočtu je nakreslená schéma s príspevkami zdrojov a impedanciami jednotlivých prvkov. Pri výpočte bolo nutné konzultovať rázovú reaktanciu generátorov, ktorej hodnota nebola dostupná. Navrhnutý transformátor vyhovuje podmienkam pre paralelnú spoluprácu a prípojnice vyhoveli podmienkam pre tepelné a dynamické účinky skratového prúdu.

Posledná kapitola sa venuje prepäťovým ochranám, ktoré nahrádzajú pôvodné bleskoistky alebo dopĺňajú ochranu pre zariadenia a časti vedenia, ktoré doteraz neboli dostatočne chránené. Návrh vychádza z príslušných noriem a detailne popisuje princíp funkcie a pripojenie obmädzovačov prepätia.

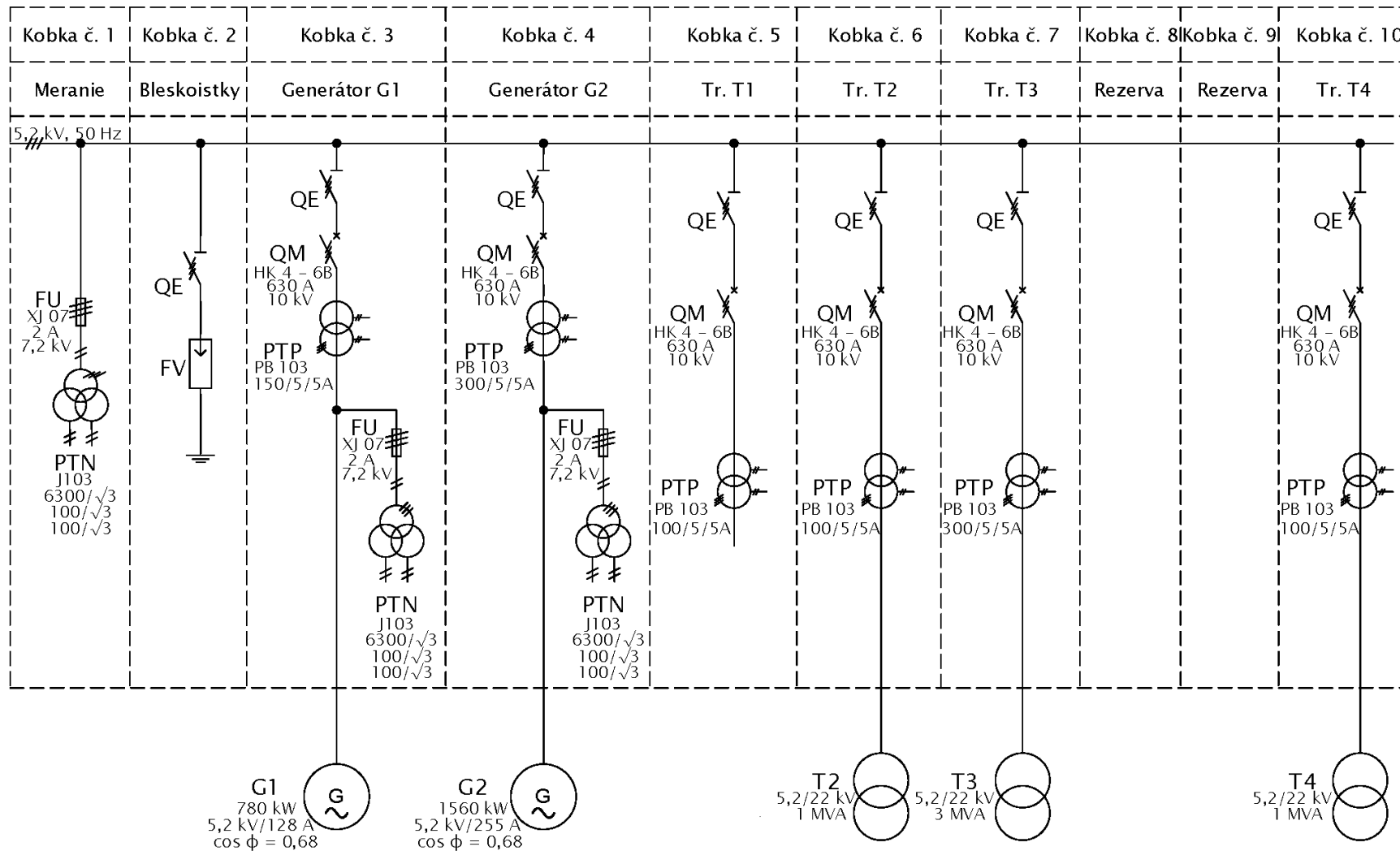
POUŽITÉ ZDROJE

- [1] TURČAN, Tibor. *Železiarne Podbrezová: 170 ročné*. Košice: Východoslovenské tlačiarne, 2010. ISBN 978-80-970005-2-3.
- [2] História. *Hutnícke múzeum* [online]. [cit. 2018-01-16]. Dostupné z: <http://www.zelpo.sk/hmuzeum/history.htm>
- [3] Profil spoločnosti. *Železiarne Podbrezová* [online]. [cit. 2018-01-16]. Dostupné z: http://www.zelpo.sk/zelpo/homezp.nsf/page/Profil_spolocnosti
- [4] História spoločnosti. *Železiarne Podbrezová* [online]. [cit. 2018-01-16]. Dostupné z: http://www.zelpo.sk/Historia_spolocnosti
- [5] Ročná správa: rok 2016. *Železiarne Podbrezová* [online]. [cit. 2018-01-16]. Dostupné z: http://www.zp.sk/e-brochure/zelpo/rocná_správa/2016/sk/index.html
- [6] PAŠTEKA, Tomáš a Michael SCHWARZ. *V prúde storočí: Historické dokumenty z Hutníckeho múzea* [online]. In: . 2015 [cit. 2018-01-16]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=t2C9LptfBBA>
- [7] JUROŠ, Ľubomír. Technická správa. : *Vybavenie HC Jasenie*. Železiarne Podbrezová, 2016, s. 42.
- [8] JUROŠ, Ľubomír. Technická správa. : *Vybavenie vstupnej rozvodne*. Železiarne Podbrezová, 2017, s. 26.
- [9] KUBANDA, Jozef. *HC Jasenie: Výroba elektrickej energie za rok 2017*. Železiarne Podbrezová, 2018.
- [10] KUBANDA, Jozef a Miroslav FILIPKO. *Konzultácia s pracovníkmi energetiky*. Železiarne Podbrezová, 2018.
- [11] *Prepätie a koordinácia izolácie: Katedra výkonových elektrotechnických systémov* [online]. Žilinská Univerzita, , 8 [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: <http://www.kves.uniza.sk/kvesnew/dokumenty/technika%20vn/texty%20vn/05%20Prep%C3%A4tia/Prep%C3%A4tie%20a%20koordin%C3%A1cia%20izol%C3%A1cie.docx>
- [12] ČSN EN 600 38. *Jmenovité napětí CENELEC*. ČNI, 2012.
- [13] HASMAN, Tomáš. *Přepětí v elektroenergetických soustavách*. 2. vyd. Praha: ČVUT, 2004. ISBN 80-01-02952-2.
- [14] ABB HIGH VOLTAGE TECHNOLOGIES LTD. *Division of Surge Arresters: Dimenzování, zkoušení a používání svodičů z oxidu kovů v sítích vysokého napětí*. Switzerland, 1995. 3. vyd.
- [15] BURANT, Jiří. *Blesk a přepětí : systémová řešení ochran*. Praha: FCC Public, 2006. ISBN 80-86534-10-3.
- [16] BALÁK, R. a J. PAUZA. *Elektroenergetika II*. Bratislava: Alfa, 1982. ISBN 63-339-82.
- [17] HAKEL -TRADE s.r.o. *Katalog 2009–2010*. Hradec Králové, 2009, , 124.
- [18] Kolektív Autorov: *Provoz distribučních soustav*. Praha, 2011. Skriptum. ČVUT.
- [19] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Rozvodná zařízení*. Brno, 2015. Elektronický učebný text. VUT v Brně.
- [20] *PNE 33-0000-8. Navrhování a umisťování svodičů přepětí v distribučních sítích nad 1 kV do 45 kV*. 2005.
- [21] VACULÍK, Pavel. *Ochrana elektronických zařízení před přepětím*. Praha: STRO.M, 1994.
- [22] *Ochrana komunikačných zariadení pred prepätím a poruchami ATIM* [online]. [cit. 2018-03-14]. Dostupné z: <http://ap.urpi.fei.stuba.sk/pkom/html/kapitola8.html>
- [23] RAYCHEM. *TOV charakteristika obmedzovača prepätia* [online]. [cit. 2018-03-14]. Dostupné z: <http://www.konex.sk/files/2015-04-29-155516-SPA-SK.pdf>
- [24] ELEKTROPORCELÁN. *Datasheet: Závesný keramický izolátor VZL 50/435*. Louny. Dostupné také z: <http://www.worldofinsulators.com/files/vykresy/pdf/060-wz-elektroporcelan.pdf>

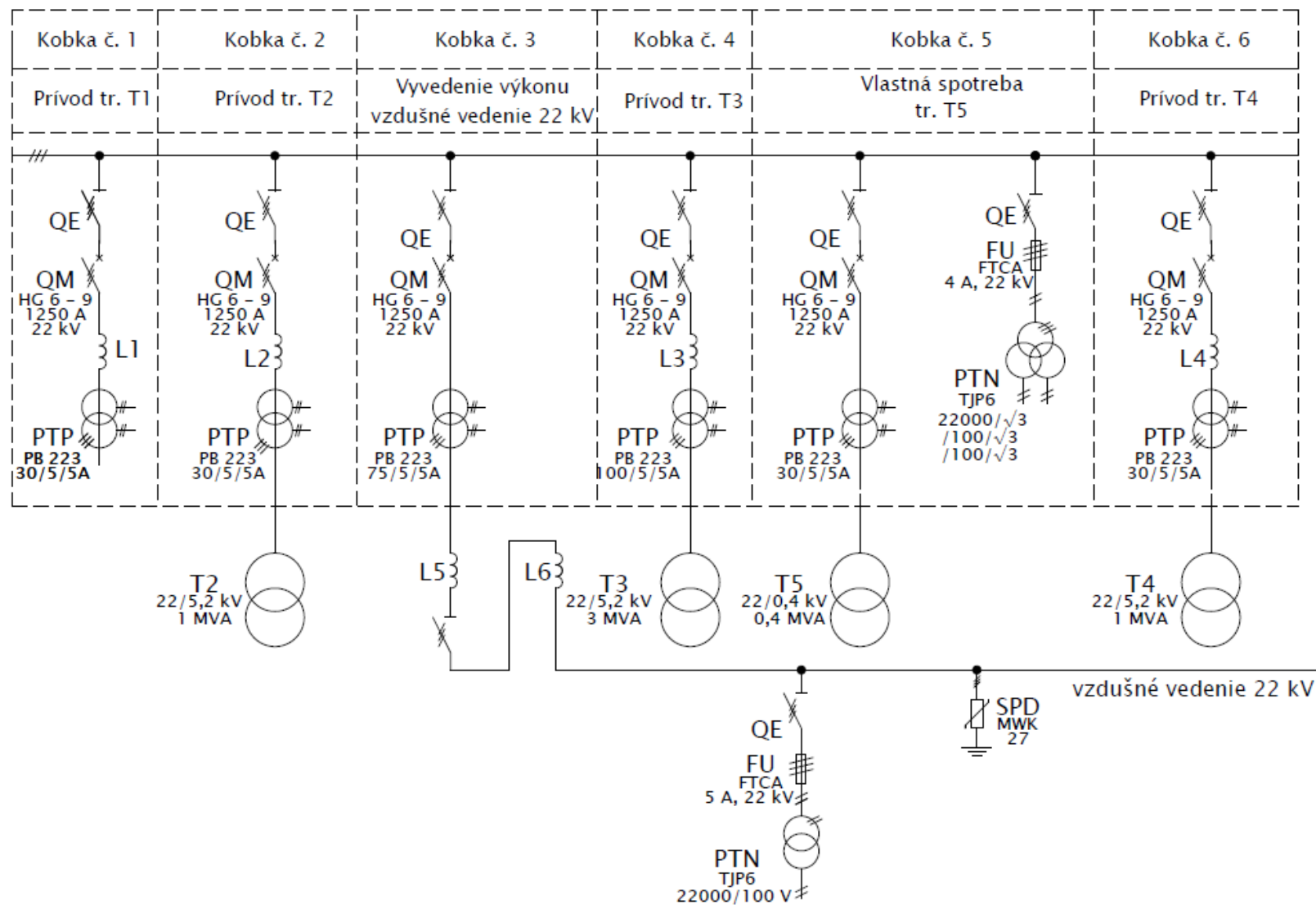
- [25] ELEKTROPORCELÁN. *Datasheet: Podperný keramický izolátor VPA 135/12a*. Louny. Dostupné také z: <http://www.worldofinsulators.com/files/vykresy/linkove-podperne/030-wz-elektroporcelan.pdf>
- [26] ČSN EN 33 3300: *Elektrotechnické předpisy. Stavba venkovních silových vedení*. 1984.
- [27] *Mapa námrazových oblastí SR*. Dostupné také z: <https://www.slideserve.com/elan/dajektor-projektanta-zauj-maj-s-maxim-lna-a-minim-lna-teplota-vietor-n-mrazy>
- [28] STN EN 50341-1: *Vonkajšie elektrické vedenia so striedavým napätím nad 1 kV. Časť 1: Všeobecné požiadavky. Spoločné špecifikácie*. 2013.
- [29] ELEKTROPORCELÁN. *Závesný keramický izolátor LP 60/7/490*. Louny. Dostupné také z: <http://www.worldofinsulators.com/files/vykresy/pdf/092-wz-elektroporcelan.pdf>
- [30] STN 33 0405: *Elektrotechnické predpisy. Navrhovanie vonkajšej elektrickej izolácie podľa stupňa znečistenia*. 1989.
- [31] SIEMENS. *SIPROTEC 7SJ80: Digitálna multifunkčná ochrana*. Dostupné také z: <https://w3.siemens.com/smartgrid/global/en/products-systems-solutions/protection/overcurrent-feeder-protection/pages/7sj80.aspx>
- [32] KPB INTRA. *Prístrojový transformátor prúdu: CTT 25*. Dostupné také z: <https://www.kpb intra.cz/produkty/ctt-25>
- [33] KPB INTRA. *Prístrojový transformátor napätia: VTS 25 P*. Dostupné také z: <https://www.kpb intra.cz/produkty/vts-25p>
- [34] BLAŽEK, Vladimír a Petr SKALA. *Distribuce elektré energie*. Brno. Elektronický učebný text. VUT v Brně.
- [35] SIEMENS. *Manuál k ochrane SIPROTEC 7SJ6025 a 7UM6115*. 2013. Dostupné také z: <https://w3.siemens.com/smartgrid/global/en/products-systems-solutions/downloads/pages/siprotec-4-downloads.aspx>
- [36] SPEZIAL ELECTRONIC. *Prevodník RS232 - WiFi: iChipNet BOX*. Dostupné také z: <http://www.spezial.cz/connectone/kompletni-iChipNet-Box-rs232-WiFi-LAN-Ethernet.html>
- [37] CONNECT ONE. *Konfiguračný program iChipConfing*. Dostupné také z: http://www.connectone.com/?page_id=306
- [38] SPEZIAL ELECTRONIC. *Základní nastavení WIFI a LAN modulů pro přenos sériové linky*. Dostupné také z: <http://www.spezial.cz/apps/wifi-zakladni-konfigurace-connect-one-do-rezimu-serial-net.html>
- [39] SPEZIAL ELECTRONIC. *Příklad konfigurace pro přenos sériové linky mezi dvěma WiFi moduly v režimu Ad-Hoc se zabezpečením WEP128* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://www.spezial.cz/apps/vzorova-konfigurace-wifi-adhoc-wep128.html>
- [40] GAŤAŘÍK, Milan. *Kočí - Valášek s.r.o.: Olejový transformátor aTO 394/22*. Dostupné také z: <http://transformatory.cz/sklad>
- [41] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Elektrické stanice a vedení*. Brno, 2015. Elektronický učebný text. VUT v Brně.
- [42] ČSN EN 60 909: *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách - Část 0: Výpočet proudů*.
- [43] MRHAČ, Stanislav. *Konzultácia: Rázová reaktancia generátorov*. Brno, 2018.
- [44] BLAŽEK, V a M PAAR. *Přenosové síte*. Brno, 2006. Elektronický učebný text. VUT v Brně.
- [45] PNE 33 3041: *Zkratové proudy - výpočet účinků - část 2: Příklady výpočtů*. Ed. 2. 2012.

-
- [46] ELEKTROPORCELÁN. *Datasheet: Podperný keramický izolátor VPA 135/12a*. Louny. Dostupné také z: <http://www.worldofinsulators.com/files/vykresy/linkove-podperne/030-wz-elektroporcelan.pdf>
- [47] ČSN EN 60 865 – 1: *Zkratkové proudy - Výpočet účinků - Část 1: Definice a výpočetní metody*. 1997.
- [48] ABB. *Surge arrester MWK: Datasheet*. Dostupné také z: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1HC0075865&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [49] ČSN 33 0120: *Elektrotechnické předpisy - Normalizovaná napětí IEC*. 2001.
- [50] ČSN EN 62 305: *Ochrana před bleskem - část 1: obecné principy*. 2006.
- [51] SIPROTEC 4 Overcurrent Time Protection 7SJ80 V4.7 Manual. *SIEMENS* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://w3.siemens.com/smartgrid/global/en/products-systems-solutions/protection/overcurrent-feeder-protection/pages/7sj80.aspx>
- [52] FILIPKO, Miroslav. *Zadanie pre vypracovanie projektovej dokumentácie: Preizolácia vzdušného vedenia 22 kV*. Podbrezová, 2014.

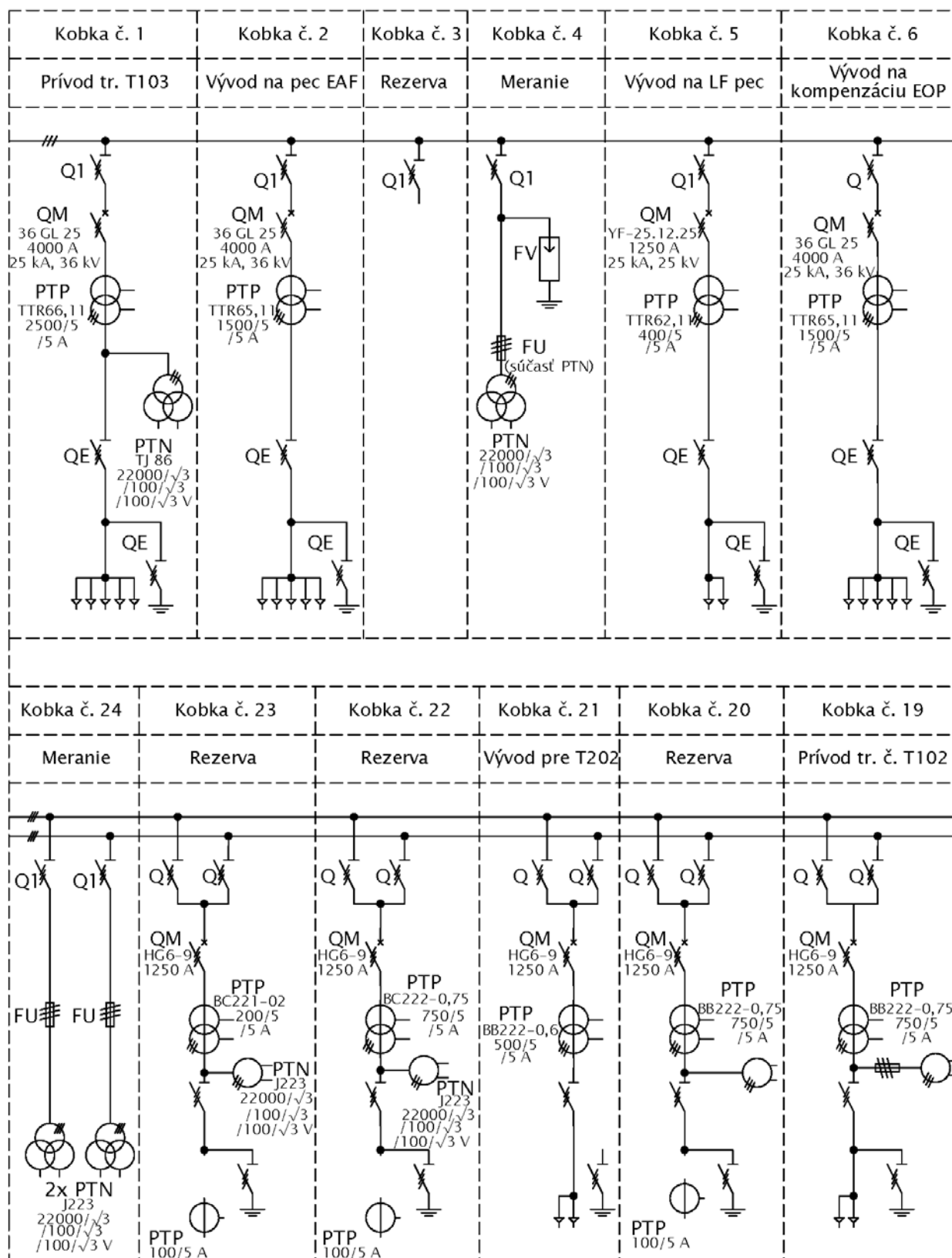
PRÍLOHA A – SCHÉMA ROZVODNE 5,2 kV v HC JASENIE



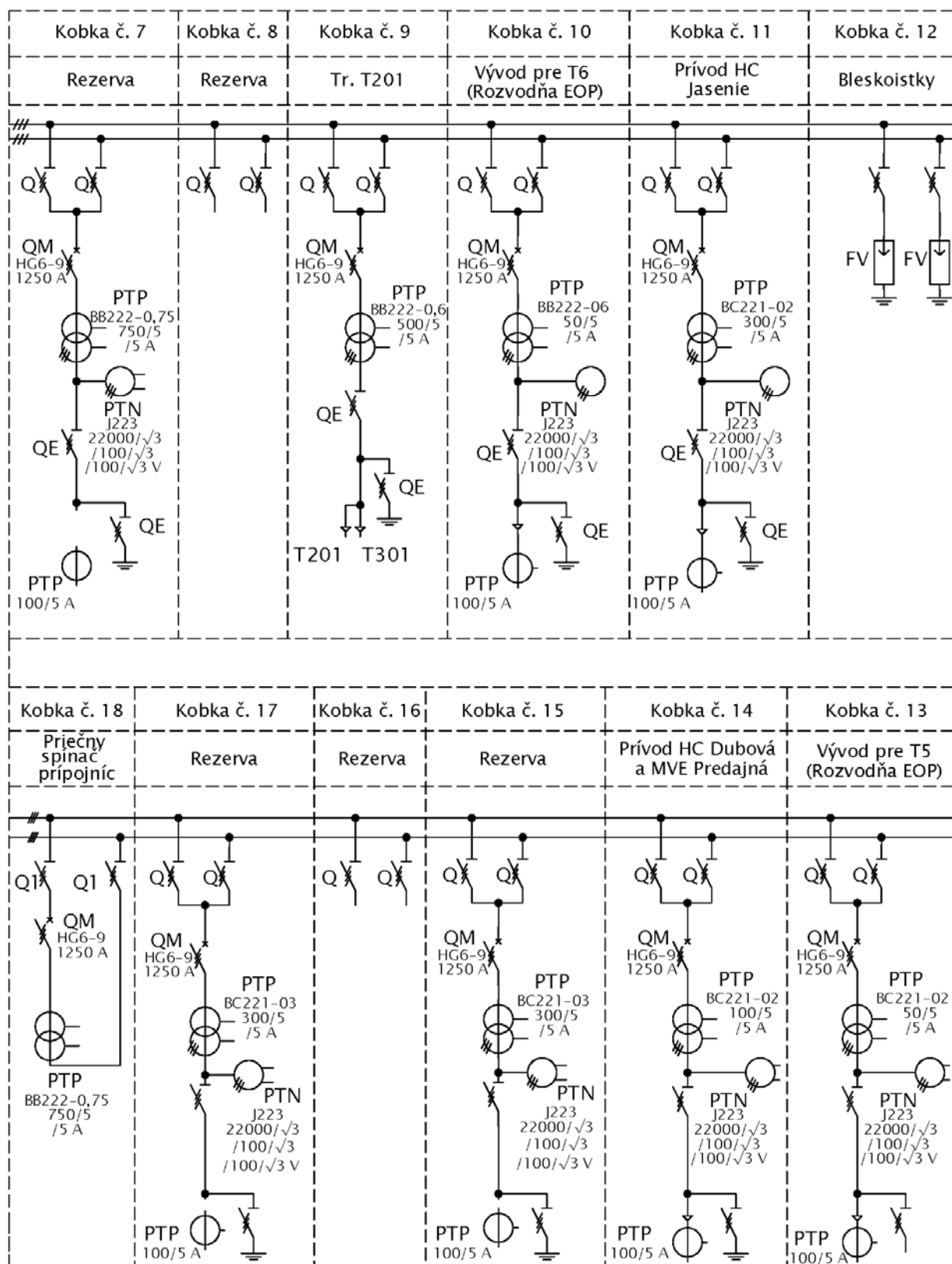
PRÍLOHA B – SCHÉMA ROZVODNE 22 kV v HC JASENIE



PRÍLOHA C – SCHÉMA ROZVODNE 22 kV V STAROM ZÁVODE, VÝKRES A



PRÍLOHA D – SCHÉMA ROZVODNE 22 kV V STAROM ZÁVODE, VÝKRES B



PRÍLOHA E – PREHLADOVÁ SCHÉMA CELEJ PREVÁDZKY